

Periodical Part, Published Version

## Der Küstenausschuss Nord- und Ostsee (Hg.)

### Die Küste 6, 2

Die Küste. Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100660>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Der Küstenausschuss Nord- und Ostsee (Hg.) (1957): Die Küste 6, 2. Heide, Holstein:

Boyens (Die Küste. Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee, 6, 2).

#### Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





# Die Küste

ARCHIV  
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK  
AN DER NORD- UND OSTSEE



3950-A-2012-00000123







# Die Küste

**ARCHIV  
FÜR FORSCHUNG UND TECHNIK  
AN DER NORD- UND OSTSEE**

**HERAUSGEBER:  
DER KUSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE**

**JAHRGANG 6/1957  
Heft 2**

**DRUCK UND KOMMISSIONSVERLAG:  
WESTHOLSTEINISCHE VERLAGSANSTALT BOYENS & CO. HEIDE I. HOLST.**



Anschriften der Verfasser dieses Heftes:

DITTMER, Ernst, Dr., Marschenbauamt Husum, Forschungsstelle Westküste, Husum, Nissenhaus;  
HUNDT, Claus, Dipl.-Ing., Marschenbauamt Heide, Pegelaußenstelle, Büsum; LAFRENZ, Peter, Reg.-Bau-  
amtmann i. R., Heide i. Holst., Marschstraße; LAMPRECHT, Heinz-Otto, Dr.-Ing., Hannover, Hammer-  
steinstraße 5; RIEDER, Kurt, Ministerialrat, Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten, Abt.  
Wasserwirtschaft, Kiel, Düsternbrooker Weg 104/108; SIMON, Wilhelm Georg, Dr., Geologisches Landes-  
amt, Hamburg 13, Rothenbaumchaussee 64 a.

---

Die Verfasser sind für den Inhalt ihrer Aufsätze allein verantwortlich.

Nachdruck aus dem Inhalt nur mit Genehmigung des Herausgebers: Küstenausschuß Nord- und Ostsee,  
Ministerialrat i. R. GAYE †, Kiel-Wik, Hindenburgufer 247, gestattet.

Schriftleiter: Dr. habil. E. WOHLBERG, Husum, Nissenhaus.



## Inhaltsverzeichnis

RIEDER, Kurt, Ministerialrat	
Folgerungen aus Untersuchungen über Küstenschutzprobleme auf Sylt . . . .	1
HUNDT, Claus, Dipl.-Ing.	
Die Abbruchursachen an der Nordwestküste des Ellenbogens auf Sylt . . . .	3
LAMPRECHT, Heinz-Otto, Dr.-Ing.	
Uferveränderungen und Küstenschutz auf Sylt . . . . .	39
LAFRENZ, Peter, Reg.-Bauamtmann i. R.	
Über die Pflege und Nutzung des Anwachsens und der Deiche an der Dith- marscher Küste . . . . .	94
SIMON, Wilhelm Georg, Dr.	
Sedimentpetrographische Kartierung des Neuwerker Watts im Sommer 1952 .	130
DITTMER, Ernst, Dr.	
Das Hemmoor im nordwestlichen Schleswig-Holstein . . . . .	147



## Folgerungen aus Untersuchungen über Küstenschutzprobleme auf Sylt

Von Kurt Rieder

Die auf Sylt auf breiter Grundlage durchgeführten gewässerkundlichen Untersuchungen wurden erstmalig im Jahre 1936 durch die Forschungsgruppe Sylt der Forschungsabteilung des Marschenbauamts Husum in Angriff genommen<sup>1)</sup>. Damals lag der Schwerpunkt der Untersuchungen im Bereich des „Ellenbogens“, dem nördlichsten, seinerzeit sehr gefährdeten Abschnitt der Insel. Diese im Sinne einer Grundlagenforschung ausgerichteten Untersuchungen sollten den Ausgangspunkt bilden für bautechnische Planungen zum Schutz dieses Küstenabschnitts. Durch den Krieg ist sowohl die Fortsetzung dieser Untersuchungen als auch ihre Nutzenanwendung für die praktischen Küstenschutzmaßnahmen zum Erliegen gekommen.

Die in den Jahren 1952—1956 durchgeführten Untersuchungen über die Probleme des Schutzes der Insel Sylt waren am 16. November 1956 in Kiel Gegenstand einer Vortragsveranstaltung, zu der Mitglieder des Landtages, Vertreter der Landesregierung, der Sylter Öffentlichkeit und Gäste geladen waren. Im Anschluß an den Vortrag von Dr.-Ing. LAMPRECHT<sup>2)</sup> faßte Regierungsbaudirektor RIEDER als Leiter der Abteilung Wasserwirtschaft im Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten die Untersuchungsergebnisse zusammen und zog daraus für den Küstenbau auf Sylt nachstehende Folgerungen:

Der naturbedingte Uferrückgang kann auf die Dauer mit künstlichen Maßnahmen nicht verhindert, sondern nur verlangsamt werden. Diese Erkenntnis ist durch einen kürzlich durchgeführten Modellversuch erneut bestätigt worden<sup>3)</sup>. Die Unterbilanz im Sandhaushalt vor der Westküste von Sylt läßt sich gar nicht und die tägliche Brandung nur bis zu einem bestimmten Grade mit Erfolg durch künstliche Eingriffe in das Naturgeschehen beeinflussen.

Als unbedingt notwendige Schutzmaßnahme muß die bisherige Bepflanzung der Vordünen und an besonders gefährdeten Stellen der Dünenverbau mit Buschzäunen verstärkt fortgesetzt werden. Diese Arbeiten unterstützen wesentlich die natürliche Landbildung.

Während die Pflanzungen über die ganze Küstenlänge fortlaufend zu betreiben sind, werden Kunstbauten wie z. B. Uferdeckwerke, Buhnen usw. im wesentlichen nur dort vertretbar sein, wo erhebliche Werte zu schützen sind. Am Westrand von Sylt muß man sich daher auf den etwa 10 km langen Abschnitt von Kampen bis nördlich Rantum beschränken.

Es ist bekannt, daß man steile Ufermauern heute nicht mehr baut. Auf Sylt muß man damit rechnen, daß weitere Teile der alten steilen Schutzmauer vor Westerland auf lange Sicht gesehen nicht erhalten werden können. Als Schutz der oberhalb des trockenen Strandes gelegenen Küstenteile haben sich dagegen die flach geneigten rauhen Deckwerke wie z. B. nördlich von Westerland gut bewährt. Jedoch wird der Anschluß des Deckwerkes besonders im Norden an die Düne immer ein wunder Punkt bleiben, weil sein Bestand von einer positiven Sandbilanz abhängig ist, welche auf Sylt leider fehlt.

Eine weitere Schwierigkeit wird stets die Sicherung des Böschungsfußes der Deckwerke bereiten, die zu ihrer Erhaltung unbedingt notwendig ist. Deshalb wird man der flächenhaften Sicherung des Vorstrandes vor Deckwerken künftighin nähertreten.

<sup>1)</sup> Vgl. Aufsatz HUNDT in diesem Heft.

<sup>2)</sup> Vgl. Aufsatz LAMPRECHT in diesem Heft.

<sup>3)</sup> HENSEN, W.: Modellversuche über den Strandabbruch an den Enden von befestigten Küstenstrecken, Lee-Erosion. Mitt. d. Hannov. Versuchsanstalt f. Grundbau u. Wasserbau, H. 10/1957.

Besondere Aufmerksamkeit muß auch den Dünen unmittelbar im Süden und Norden von Westerland gewidmet werden. Sie sind an diesen Stellen sehr schmal und bei außergewöhnlich hohen Sturmfluten in höherem Maße in ihrem Bestand gefährdet. Bei einem Bruch der Dünen würde ein Teil des Ortes und des Nössekooges überflutet werden.

Die enormen Energien, welche im Kampfraum Wasser — Land — Luft täglich und insbesondere bei Sturmfluten frei werden, formen den sichtbaren Strand und den nicht sichtbaren Unterwasserstrand. Wenn auch die bisherigen Bauweisen, nämlich steile Wände (Buhnen) quer zur Küstenlinie in die Brandungszone hinein, hier und dort einen gewissen Erfolg gehabt zu haben scheinen, so steht der Aufwand doch in keinem sinnvollen Verhältnis zum erzielten Erfolg. Deshalb wird man das Ergebnis der neueren Untersuchungen benutzen, um Bauweisen zu entwickeln, die den Unterwasserstrand vor dem Mittelabschnitt von Sylt den Erfordernissen entsprechend flächenhaft schützen. Es wird zunächst ein entsprechender Versuch in einer Modellversuchsanstalt und dann am Objekt selbst durchgeführt werden. Vorarbeiten hierfür sind vom Marschenbauamt Husum bereits geleistet worden.

Von dem Bau uferparalleler Wellenbrecher etwa 400 m vor dem Strand und auch von der aufgezeigten Möglichkeit, eine Strandverbreiterung durch Sandvorspülung zu erreichen, muß — wegen der damit verbundenen untragbaren finanziellen Belastung der öffentlichen Hand — abgesehen werden.

Niemand kann somit für den dauernden Bestand des Strandes und der Kunstbauten zum Schutze der Insel garantieren. Es ist deshalb die Forderung zu stellen, daß die Bebauungsgrenze mindestens 100 m von der Dünen- bzw. Kliffoberkante entfernt bleibt und daß sie in Zukunft unbedingt eingehalten wird. Dadurch ist auf längere Sicht die Möglichkeit für Schutzmaßnahmen gegeben.

An der Ostküste von Sylt ist die Gefahr für ihren Bestand unvergleichlich geringer. Man wird jedoch auch hier Sicherungsmaßnahmen an denjenigen Stellen treffen, wo es gilt, besondere Werte zu sichern. Für die zu schützenden Ostküstenstrecken muß ebenfalls die Festlegung einer Bebauungsgrenze gefordert werden.

Zu der viel diskutierten Teilung der Insel ist zu bemerken, daß die Gefahr für die Entstehung eines Grundbruchs z. B. am Hals des Ellenbogens zum Königshafen hin nicht groß ist, weil die See bei Sturmfluten östlich von Sylt fast ebenso hoch ansteht wie an der Westseite. Es würde also kein nennenswertes Gefälle von West nach Ost und infolgedessen auch keine bedeutende Strömung entstehen. Im übrigen lassen sich erfahrungsgemäß mit verhältnismäßig geringen Mitteln und gutem Erfolg Riegel aus Dünensand aufwerfen und mit Buschzäunen und Halmpflanzungen befestigen.

Man wird bemüht bleiben, die Naturschönheiten im Norden und Süden der Insel durch die im Mittelabschnitt notwendigen Sicherungsarbeiten nicht zu beeinträchtigen.

Angesichts der sehr verwickelten dynamischen Bedingungen im Kräftehaushalt der Insel Sylt ist der Zeitpunkt einer zusammenfassenden oder gar abschließenden Stellungnahme noch nicht gekommen. So möge auch die Diskussion über die Untersuchungsergebnisse auf der einen Seite und die praktischen Maßnahmen unter Heranziehung der laufenden praktischen Bauerfahrungen auf der anderen Seite einer späteren Darlegung vorbehalten bleiben.



# Die Abbruchursachen an der Nordwestküste des Ellenbogens auf Sylt

Aus einer Denkschrift von 1939<sup>1)</sup>

Von Claus Hundt

## Inhalt

I.	Das Untersuchungsgebiet und die Aufgabenstellung . . . . .	5
II.	Erdgeschichtlicher Aufbau Nord-Sylts . . . . .	5
III.	Bisherige Veränderungen der Ellenbogenküste und des umgebenden Seegebietes . . . . .	7
	1. Strandverlagerung . . . . .	8
	2. Seetiefenänderung . . . . .	10
	a) Jetzige Gestalt des Seegrundes . . . . .	10
	b) Veränderung des Seegrundes . . . . .	12
IV.	Die verändernden Kräfte . . . . .	14
	1. Wind . . . . .	14
	2. Gezeiten . . . . .	15
	a) Wasserstand . . . . .	15
	b) Strömung . . . . .	16
V.	Auswirkung der verändernden Kräfte . . . . .	23
	1. Sandwanderung . . . . .	23
	a) Stromdrift . . . . .	23
	b) Strandversatz . . . . .	26
	2. Veränderung der Seegrund- und Küstengestalt . . . . .	27
VI.	Die künftige Küstenentwicklung am Ellenbogen . . . . .	32
VII.	Nachwort 1958 . . . . .	36
VIII.	Schriftenverzeichnis . . . . .	37

<sup>1)</sup> Gekürzter, in Einzelheiten überarbeiteter, sachlich unveränderter Abdruck einer amtlichen Denkschrift an den derzeitigen Oberpräsidenten in Kiel, aufgestellt von der Forschungsabteilung — Forschungsgruppe Sylt — des Marschenbauamts Husum am 15. August 1939.

Die Denkschrift behandelt ein Zwischenergebnis von Untersuchungen, die seit 1936 im Rahmen der sogenannten Westküstenforschung (vgl. Aufsatz LORENZEN in „Westküste“ I, 1, 1938) über die Ursachen des ständigen Schwindens der Insel Sylt und über Möglichkeiten ihrer Sicherung angesetzt waren. Bis 1939 konzentrierten sich diese Untersuchungen auf die Strecke des stärksten Abbruchs an der Insel überhaupt, auf die Nordwestecke des Ellenbogens. Das küstenmorphologische und bautechnische Problem der Sicherung der Gesamtinsel war weiterführenden Arbeiten zugeordnet, mußte jedoch bei Kriegsausbruch zurückgestellt werden. 1952 bis 1955 von neuem aufgegriffen, konnten die Abbruchvorgänge auf der damals besonders zurückbrechenden mittleren Küstenstrecke beiderseits Westerland der Klärung nähergebracht werden, insbesondere auch das umstrittene Verhalten von Buhnen- und Deckwerksystemen (vgl. Aufsatz LAMPRECHT in diesem Heft). Insofern bildet die vorliegende Denkschrift lediglich den ersten Schritt zur Erkenntnis der Gesamtfrage Sylt. Die letzten Schritte sind auch heute noch ungetan.

Besonderen Dank für Anleitung und Mithilfe schuldet der Verfasser seinen damaligen Vorgesetzten, dem verstorbenen derzeitigen Leiter der Forschungsabteilung Husum, Herrn Oberregierungsbaurat H. SCHELLING und dem derzeitigen Leiter der Zentralstelle Westküste in Kiel, dem jetzigen Präsidenten der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel, Herrn J. M. LORENZEN. Auf die Problemstellungen und die Untersuchungsverfahren haben die damals bekanntgewordenen küstenmorphologischen Arbeiten von GAYE und WALTHER über Norderney, von KRÜGER und LÜDERS über die Jademündung und von VAN VEEN über das Seegebiet der Hoofden entscheidenden Einfluß gehabt. Das derzeitige Marineobservatorium Wilhelmshaven unter Leitung von Herrn Dr. RAUSCHELBACH war an der Durchführung und Auswertung der umfangreichen Strommessungen maßgebend beteiligt.





## I. Das Untersuchungsgebiet und die Aufgabenstellung

Der Bestand der Insel Sylt ist durch einen fortschreitenden Abbruch ihrer Westküste gefährdet. Er ist zwar seit langem bekannt, von seinen Ursachen fehlte aber bisher eine ausreichende Kenntnis. Die Forschungsabteilung des Marschenbauamts Husum wurde daher 1936 mit der Durchführung von Untersuchungen über die Ursachen des Küstenrückgangs beauftragt, um damit Unterlagen für einen wirksamen Küstenschutz zu schaffen.

Die Aufgabe der vorliegenden Denkschrift ist es, Richtlinien für die Sicherung derjenigen Küstenstrecke zu vermitteln, die in jüngster Zeit unter dem Angriff des Meeres am stärksten gelitten hat und die deshalb sofortige Schutzmaßnahmen verlangt. Dies ist das Gebiet des nordwestlichen Ellenbogens, der nördlichsten Spitze der Insel Sylt. Schon im Jahre 1928 war bei einer Sturmflut der Dünengürtel südlich vom Huk<sup>2)</sup> an der schmalsten Stelle zwischen dem Königshafen und der Nordsee überströmt und das Ellenbogengebiet dadurch für Stunden von der übrigen Insel abgeschnitten worden. Der zunehmende Küstenabbruch auch nördlich dieser Küstenstrecke, besonders durch die Sturmfluten vom Herbst 1936 verursacht, gab 1938 Veranlassung zum Bau eines Uferdeckwerks (LÜPKES u. SIEMENS, 1940).

Seit 1865 hat die Preussische Staatsverwaltung mit erheblichen Mitteln versucht, den Abbruch des Weststrandes der Insel Sylt durch den Bau von Stein- und später Eisenbuhnen, sowie der Uferschutzmauer vor Westerland aufzuhalten. Die letzten großen Sturmfluten auf Sylt haben jedoch gezeigt, daß kurze Querwerke allein nicht in der Lage sind, die der Brandung stark ausgesetzte Küste am nordwestlichen Ellenbogen ausreichend zu schützen. Hier wurde daher der Bau des schweren Deckwerks sofort notwendig.

Zur Abschätzung der Wirkung von Küstenschutzbauwerken bedarf es Untersuchungen, die sich nicht nur auf den sichtbaren Strandabbruch beschränken, sondern auf das angrenzende Seegebiet der Küste ausgedehnt werden. Neben der Erforschung des erdgeschichtlichen Aufbaues des Untersuchungsgebietes und seiner Veränderungen während der jüngsten Vergangenheit war es demnach vor allem erforderlich, die zur Zeit im Seebereich vor der Ellenbogenküste wirkenden Kräfte zu ermitteln, um hieraus die bisherige und zukünftige Entwicklung der Küste von Nord-Sylt abzuleiten.

## II. Erdgeschichtlicher Aufbau Nord-Sylts

Insbesondere auf der nördlichen Hälfte der Insel Sylt sind der geologische Aufbau und die erdgeschichtliche Entstehung dieses Inselteils in den Jahren 1937/38 im Auftrage des Oberpräsidenten Schleswig-Holsteins durch Bohrungen eingehend untersucht worden (GRIPP u. SIMON, 1940; GRIPP u. BECKER, 1940).

Nördlich von Kliffende bilden danach nicht, wie bisher angenommen, tertiäre und diluviale Kerne den Untergrund, sondern dort liegt ein großes diluviales Ausräumungsbecken, das mit jungdiluvialen und alluvialen Absätzen ausgefüllt ist. Diese Beckenausfüllung wird vor dem Weststrand Listlands in gleicher Weise abgetragen wie der Geestkern der Insel am Roten Kliff.

Der ganze Lister Dünenzug ist ein junger, nur wenig älteren Absätzen aufgelagerter Stromhaken, der einseitig von dem Landkern bei Kliffende aus von den Meeres- und Windkräften vorgebaut wird. Seine Westkante bleibt stets in gleicher Linie mit dem ostwärts zurücktretenden Abbruchufer des Geestkerns. Er unterliegt also selbst wieder dem Abbruch im Westen, während er beständig nach Norden vorgebaut wird (vgl. Abb. 2).

<sup>2)</sup> Der Übersichtsplan (Abb. 1) enthält die im folgenden verwandten Bezeichnungen der Inselteile, Sände und Seegebiete.

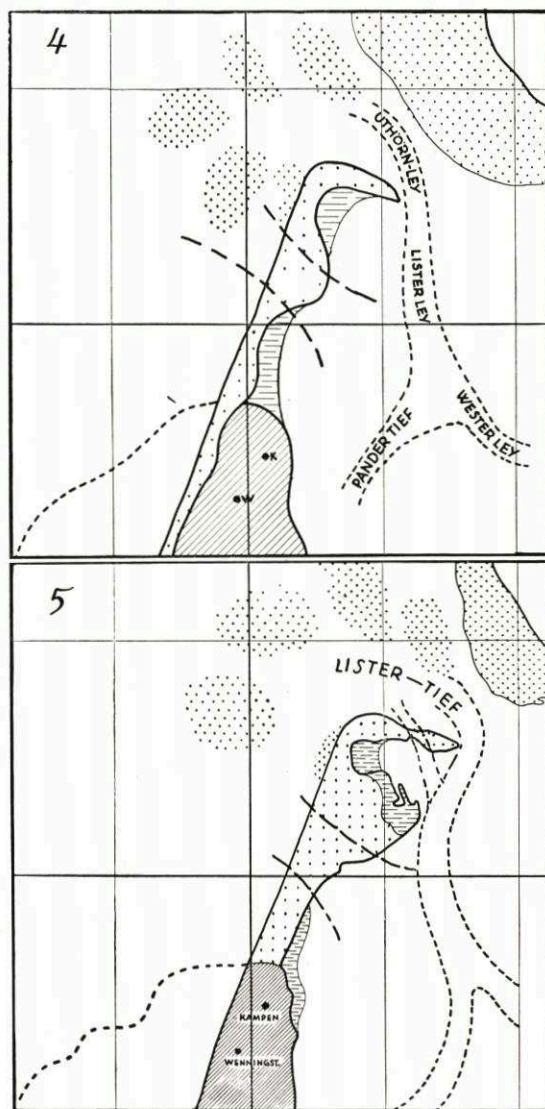
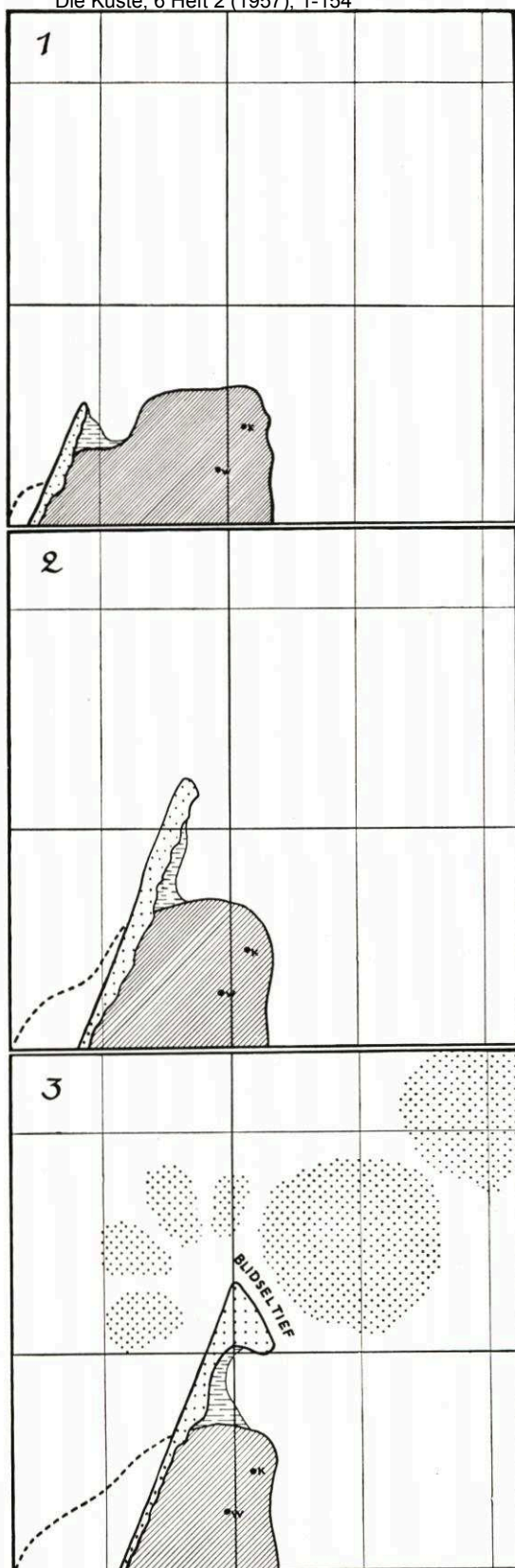


Abb. 2. Schema der Entwicklung des Listland-Hakens  
(aus GRIFF u. SIMON, 1940)



Der Ellenbogen ist ebenfalls ein dem Listland-Haken nach Osten angegliederter sekundärer Stromhaken.

Die Wattenbucht des Königshafens unterbricht den stetigen Vorbau des Listlandes. Hier wurde die Entwicklung, wahrscheinlich durch vermehrte Sandzufuhr, zeitweilig beschleunigt, so daß ein Vorläufer des heute Ellenbogen genannten Dünenzuges die Fläche des jetzigen Königshafens umrundete. Beispiele ähnlicher Umrundungen eines Flachstrandes bieten Hörnum Odde im Süden der Insel und Kniephafen auf Amrum.

Während Abbildung 2 die aus den Bohrergebnissen erkannte Entstehungsgeschichte von Listland schematisch darstellt, veranschaulicht der Höhenschichtenplan des heutigen Ellenbogens die Art des Vorbaus von Listland nach Norden (vgl. GRIPP, 1940, Tafel 2 auf S. 46). Die zwiebel-schalenartig angeordneten und vom Westellenbogen ausstrahlenden Dünenzüge entsprechen früheren Strandlagen. Am Ostfeuer liegt das Ausgangszentrum einer zweiten ähnlichen Dünengruppe, die den Aufbau des Ostellenbogens widerspiegelt.

Dieselbe Entstehungsweise des Ellenbogens muß auch für das übrige Listland südlich des Königshafens angenommen werden, obgleich hier die Wanderdünen die Formen verändert haben.

Diese Grundzüge der erdgeschichtlichen Entwicklung Listlands und des Ellenbogens in der Vergangenheit sind bei den heutigen Küstenveränderungen gleichfalls noch festzustellen. Die bildenden Kräfte von heute und früher werden daher ähnlich sein und voraussichtlich auch noch in nächster Zukunft beständig bleiben.

Bei jeder Bauplanung muß also damit gerechnet werden, daß der Untergrund des Ellenbogens und seine Umgebung aus losem, von Wasser und Wind zusammengetragenen Sand bestehen, festere Bodenschichten aber, an die sich Bauwerke anlehnen könnten, fehlen.

### III. Bisherige Veränderungen der Ellenbogenküste und des umgebenden Seegebietes

Die Untersuchung der Küstenabbrüche am Ellenbogen geht von der Feststellung des bisherigen Gestaltwandels der Insel Sylt infolge der Strandverlagerungen im Laufe der letzten Zeit aus und wird auf die Veränderung des vorgelagerten Seegebietes ausgedehnt.

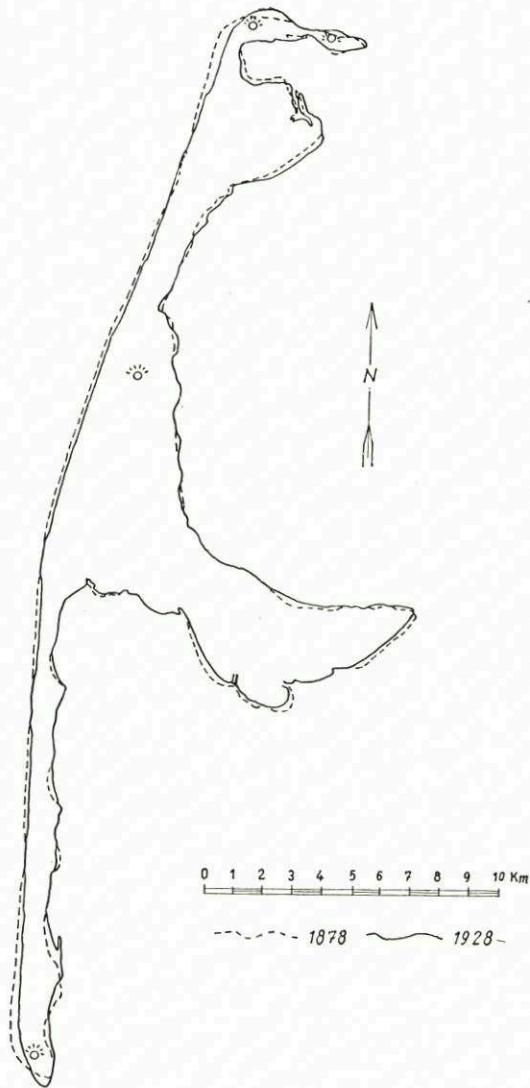


Abb. 3. Gestaltwandel der Insel Sylt 1878 bis 1928  
(nach Meßtischblättern)

## 1. Strandverlagerung

Die erste zuverlässige Vermessung des Inselumrisses stammt aus dem Jahre 1793. Später hat sich die gesamte Westküste Sylts nachweislich dauernd ostwärts verlagert.

Der Gestaltwandel der Insel Sylt in den letzten fünfzig Jahren von 1878 bis 1928 ist in Abbildung 3 angedeutet. Die Westküste ist nicht überall gleichmäßig zurückgegangen, sondern in verstärktem Maße an beiden Inselenden. Auffallend gering ist der Küstenrückgang an den Strecken zwischen der Inselmitte und ihren Enden.

Wie sich der Strand im einzelnen verlagert hat, zeigen die seit 1883 vom Wasserbauamt Husum wiederholt durchgeführten Vermessungen von Strandprofilen. Der durchschnittliche Jahresabbruch in den letzten rund fünfzig Jahren, gemessen in der Linie des MThw, betrug hiernach (Abbruch negativ):

Strandverlagerung der Westküste von Nord-Sylt von  
1883 bis 1938 in m/Jahr

Küstenstrecke	Mittl. Wert	Größtwert	gemessen i. d. Linie
Westerland-Klappholtal	— 1,20 m	— 1,76 m (Kliffende)	HThw
vor Klappholtal	— 0,30 m		HThw
Klappholtal-Ellenbogen	— 3,20 m	— 7,30 m (südl. v. Huk)	HThw
Nordellenbogen (Plate)		+ 6,00 m	MTnw

Der durch diese Zahlen gekennzeichnete langjährige Durchschnittswert des Abbruchs setzt sich aus sehr unterschiedlichen Werten für die einzelnen Zeitabschnitte und in diesen wieder für die einzelnen Profile zusammen. Der durchschnittliche Jahresabbruch an der Hauptabbruchstrecke des Westellenbogens seit Beginn der Vermessungen (1883) beträgt zum Beispiel: 11,50 m (bis 1916), 9,70 m (bis 1926), 7,30 m (bis Sommer 1935). Die Abnahme dieses Abbruchwertes beträgt rund 35 % in neunzehn Jahren. Auch vor 1878 ist mehr abgebrochen als nach 1878. Der Hauptabbruch am Westellenbogen scheint hiernach für den betrachteten Zeitraum schwächer zu werden.

Aus den in Abbildung 4 graphisch dargestellten durchschnittlichen Jahresabbrüchen für die Zeitabschnitte 1916/26/35/39 sind folgende Merkmale hervorzuheben:

- Bei Profil 33 liegt 1916/26 ein Abbruch von 6 m, dagegen 1926/35 und 1935/39 ein Anwachs von 3 m vor. Derartig schroffe Wechsel bedeuten lediglich den Ausgleich eines örtlich begrenzten Sturmfluteinbruchs und kommen an der ganzen Westküste in regelloser Verteilung mehrfach vor.
- Dagegen scheint im Wechsel der Hauptabbrüche am westlichen Ellenbogen eine bestimmte Regel zu liegen. Die Hauptabbruchzone im Bereich der Profile 38 bis 44 am West-Ellenbogen, in Abbildung 4 mit „a“ bezeichnet, ist seit 1916 stetig um 1500 m nach Norden gewandert. Sie lag 1916/26: 1000 m südlich vom Huk, dagegen 1935/39: 500 m nördlich davon und nähert sich jetzt schon dem Westrand der „Plate“.

Aus dem Lageplan der verschiedenen Strandlinien (Abb. 5) geht ferner hervor, daß die Küste am Ellenbogen vor 1935 nur ausbuchtende Formen hatte (vgl. MThw-Linie 1928). Die nach Sturmfluten stehengebliebenen Vorsprünge wurden später jeweils abgeschliffen. Erst die Oktoberstürme im Jahre 1935 verursachten vor dem Westfeuer die heute vorhandene Einbuchtung der Strandlinie und der Abbruchkante, die in den Stürmen des Jahres 1936 noch weiter ausgebildet wurde. Zugleich blieb aber auffälligerweise, wie schon vorher, das stark vorspringende Huk von stärkeren Abbrüchen verschont.

Das Anwachsgebiet am Nord-Ellenbogen — Plate genannt — breitet sich nicht nur nach Norden aus, sondern schiebt auch seinen Ostrand jährlich um rund 17 m nach Osten in die



Mittelbucht vor. Gleichbleibende Wandergeschwindigkeit vorausgesetzt, würde die „Einschnürungsstelle“ in vierzig Jahren von der Plate erreicht und damit geschützt sein.

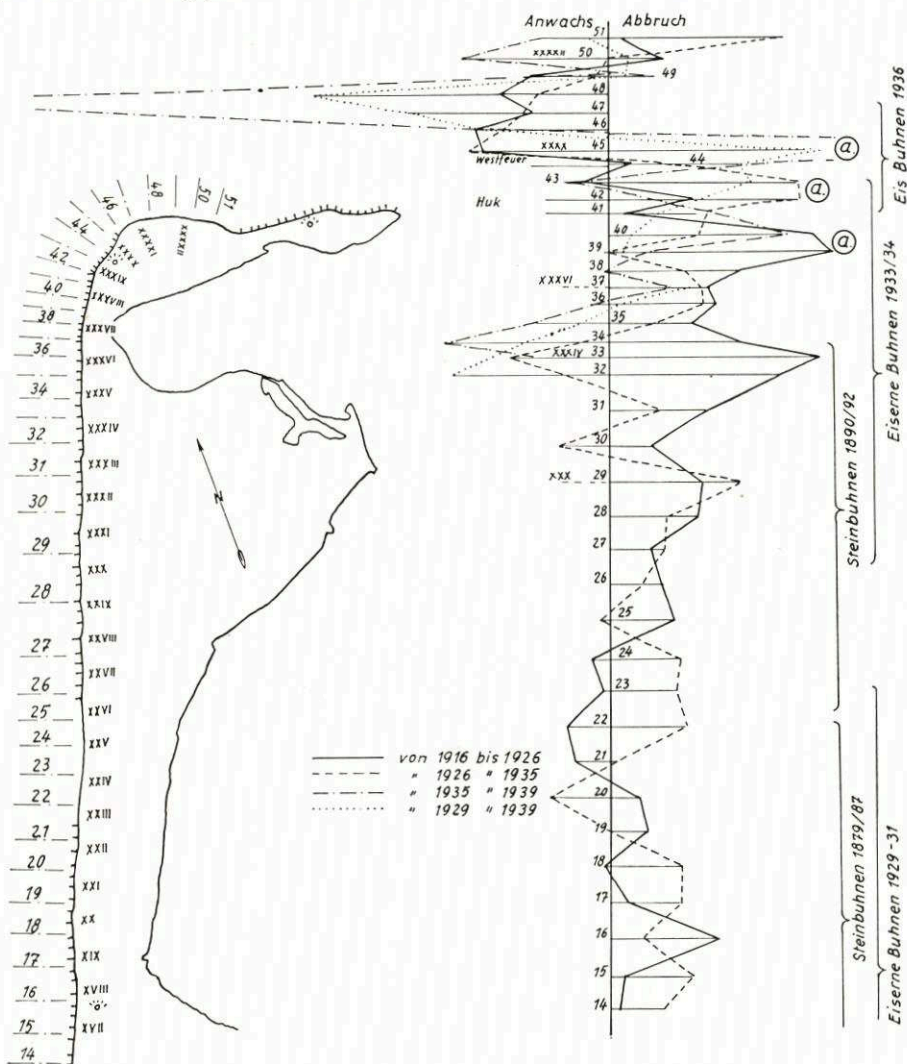


Abb. 4. Mittlere jährliche Verlagerung des Dünenfußes 1916 bis 1939, nördliche Westküste Sylts  
Gemessen in HThw-Höhe = + 4,12 m NN. Nach Strandprofilmessungen des Marschenbauamts Husum

### Zusammenfassung

Die früher von Kliffende bis Ellenbogen Huk schwach konkav geformte Westküste hat seit 1800 bis heute unter verstärktem Abbruch am westlichen Ellenbogen eine völlig gestreckte Form angenommen.

Gleichzeitig hat sich die Hauptabbruchzone von Süden um das Ostindienfahrerhuk herum vor das Westfeuer und an den Westrand der Plate verlagert. Vor dem vorspringenden Huk erhält sich seit einigen Jahren ein besonders breiter und hoher Strand. Daraus wird gefolgert, daß die Küste am West-Ellenbogen zur Zeit einen relativen Beharrungszustand erreicht hat und die Abbruchtätigkeit hier abnehmen, dagegen an der westlichen Plate zunehmen wird.

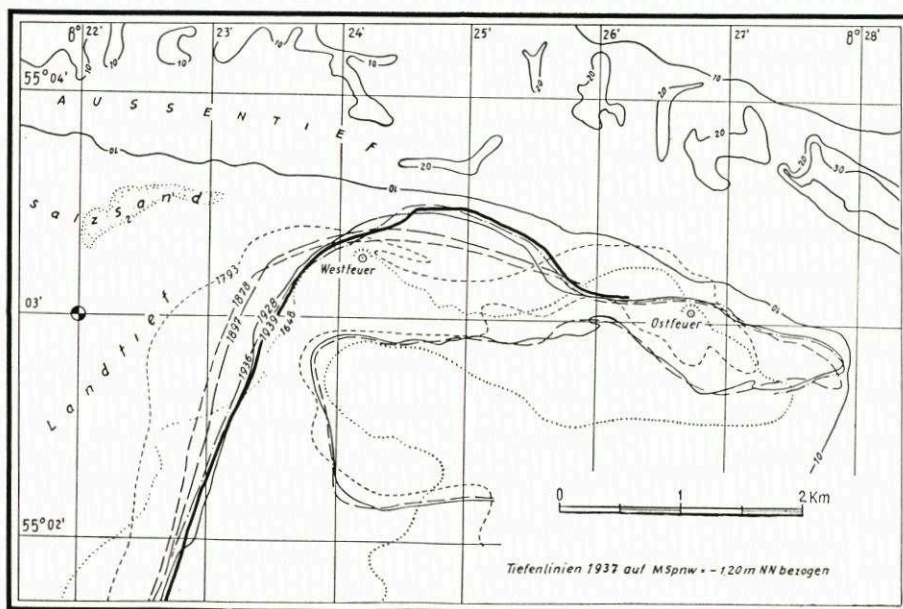


Abb. 5. Verlagerung der MThw-Linie am Ellenbogen 1648 bis 1936

1648 nach MEYER. Festpunkte astronomisch orientiert von GEERZ. Verlauf nicht sicher (nach MÜLLER-FISCHER, 1938). 1793 nach Dän. Ges. der Wissenschaften. Festpunkte trigonometrisch vermessen (nach MÜLLER-FISCHER, 1938). 1878 nach Meßtischblättern d. Preuß. Landesaufnahme. 1897 nach Strandprofilen des Wasserbauamts Husum. 1928 nach topogr. Grundkarte 1 : 5000. 1936 nach Strandprofilen der Forschungsgruppe Sylt. 1939 nach Strandprofilen der Forschungsgruppe Sylt

## 2. Seetiefenänderung

Die Veränderungen der Seetiefen des Untersuchungsgebietes sind aus den Lotungen der Kriegsmarine seit 1868 bekannt. Außerdem wurden engmaschige, mehrmals wiederholte Profil-lotungen seit 1936 durch die Forschungsabteilung Husum ausgeführt. Über die Tiefenänderungen jenseits der deutschen Grenze auf dänischem Gebiet fehlen seit 1917 genauere Vermessungen

### a) Jetzige Gestalt des Seegrundes

Im gesamten Seegebiet vor Nord-Sylt kommt dem Lister Tief die größte Bedeutung zu. Es umströmt als natürliche Vorflut des 385 km<sup>2</sup> großen Wattenraums zwischen dem Nordteil der Insel Sylt, dem Hindenburgdamm und dem Festland aus Süden in schmäler bis zu 40 m tiefer Rinne den Ost-Ellenbogen in scharfem Bogen nach West-Nord-Westen und breitet sich in einem nach Westen flacher werdenden Becken aus. Dieses wird gegen die fast ebene 10 m tiefe Sohle der offenen See durch die Außensände: Salzsand, Außenbarre und Rüstensand abgegrenzt.

Den Wasseraustausch zwischen dem Lister Tief und der offenen See vermittelt zur Hauptsache das Lister Außentief. Eine zweite Verbindung zwischen Außentief und offener See verläuft in Küstennähe zwischen Ost-Salzsand und West-Ellenbogen über die Landtiefbarre nach Südwesten zum Landtief. Zwar ist diese Verbindung für den Wasseraustausch des Lister Tiefs von geringerer Bedeutung, für den Küstenabbruch am West-Ellenbogen dagegen ausschlaggebend.

Die Außensände liegen 1 bis 3 m unter Tnw. Das Außentief ist am West-Ellenbogen um 20 m und am äußeren Ende etwa 10 m tief. Während sein Nordufer, der Rüstengang, flach



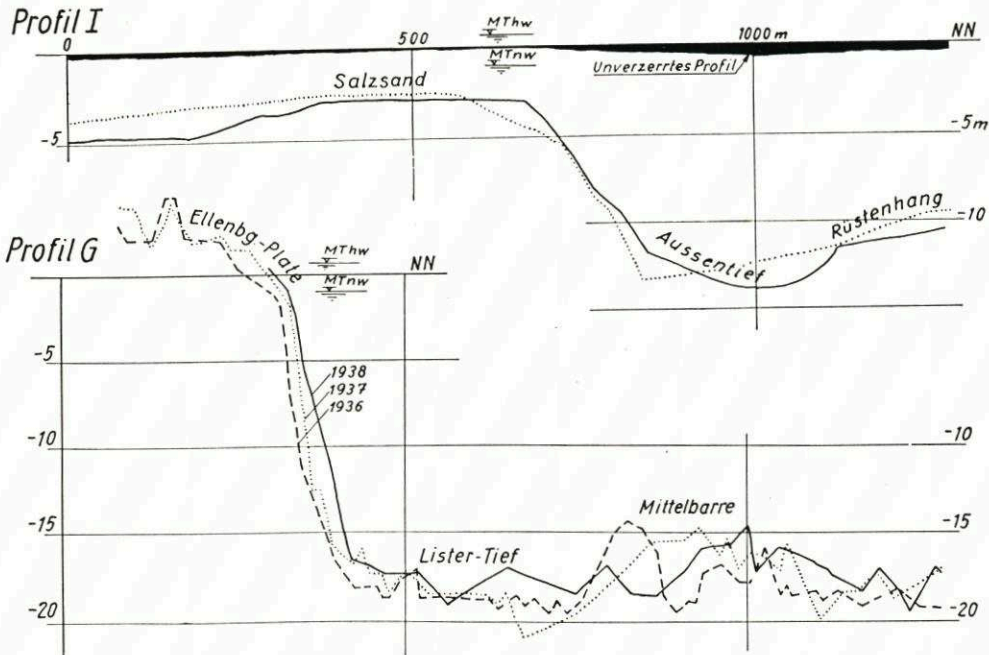


Abb. 6. Querprofile am Südufer des Lister Tiefs 1936 / 1937 / 1938 (Salzsand u. Ellenbogen-Plate)  
Vgl. Lageplan Abb. 1. Überhöhung 25fach

zum Tief abfällt, ist das Südufer, die Salzsand- und Ellenbogenkante steil geneigt. Bemerkenswert ist der völlig gestreckte Verlauf des ganzen Südufers des Außentiefs (s. 10 m-Linie) in Ost-Westrichtung, was auf eine überwiegend längsausgleichende Formkraft hinweist.

Zum Verständnis der folgenden Untersuchungen über die Sandwanderung müssen die Seegrundformen vor dem West-Ellenbogen eingehender behandelt werden (Abb. 1 und 13).

Der Salzsand, äußerlich annähernd ein untermeerisches Spiegelbild zum Ellenbogen, fällt nordwärts mit einer Böschung von rund 1:20 steil in das 15 m tiefe Außentief ab, dagegen leitet im Süden ein flacher Hang mit etwa 1:200 in die rund 6 m tiefe Lister Westsee über (Abb. 6).

In dem Winkel zwischen Salzsand und Listland-Ellenbogen hat das Landtief aus Südwesten vorstoßend einen Fluttrichter ausgebildet, der aus 6 m Tiefe bis zu 1,5 m unter Tnw über der Landtiefbarre ansteigt, um von dort wieder in das Außentief nach Norden steil abzufallen. Dieser schmale Rücken der Landtiefbarre verbindet den Salzsand mit dem Strande des Ellenbogens in fast geschlossener Höhe; den eigentlichen Anschluß an den Strand vermittelt dann querab vom Westfeuer die flache symmetrisch geformte „Zunge“, eine Sandbank, die eine der beständigsten Formen am West-Ellenbogen darstellt.

Von den Kleinformen des Seegrundes haben die Strandriffe an der gesamten Westküste Sylts eine große Bedeutung für die Strandlage. Ihr nördlichster Ausläufer, der „Ellenbogensteert“ streicht als Strandhaken vom Huk aus ebbewärts nach Südwesten, schwenkt zur Küste, verschwindet und erneuert sich — in offenbar kurzjähriger Periode — wieder von See her. Seine wechselnde Form und Lage wird auch die Ursache der wechselnden Strandlagen südlich des Huks sein. Der besondere Einfluß dieses Riffs auf den Vorstrand am Huk wird noch behandelt.

## b) Veränderung des Seegrundes

Wie das steile Nordgefälle des Salzsandes, der Landtieffbarre und der Plate andeuten, haben die Bodenformen des Untersuchungsgebietes allgemein eine nördliche Wanderrichtung, was im einzelnen durch Seekartenvergleich für die Zeit seit 1868 bewiesen wird.

Maßgeblich für alle Seetiefenveränderungen im Untersuchungsgebiet ist die Veränderung des Lister Außentiefs. Es hat sich in den letzten sieben Jahren seit 1868 um 500 bis 1000 m nach Norden verlagert (Abb. 7 und 8), mit ihm die Nordküste des Ellenbogens.

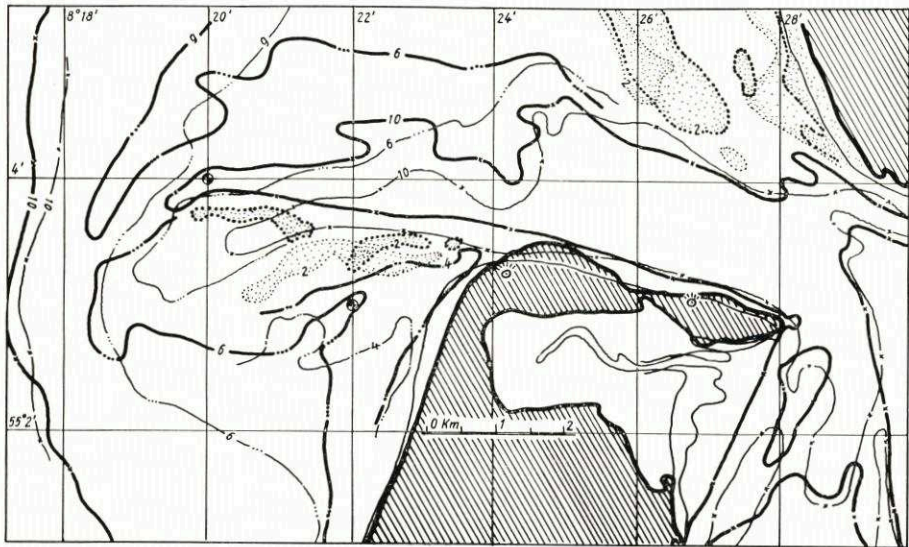


Abb. 7. Verlagerungen am Lister Außentief 1879 (dünne Linien) bis 1939 (dicke Linien)

Mit der Nordwanderung aller Bodenformen zusammen mit dem Außentief ist gleichzeitig eine Schwenkung der Achsen der Haupt-Tiefs, und damit der Hauptstromrichtungen vor der Küste verbunden.

Diese Nordwärtsverlagerung und Schwenkung des Tiefs wirkt sich erheblich auf die Anlandungs- und Abbrucherscheinungen der Küste vor allem am Ellenbogen aus.

Mit den Verlagerungen des Lister Außentiefs sind die Veränderungen des Landtiefs eng verbunden. Das Landtief ist wie das Außentief eine seit langem bestehende flache Stromrinne, die sich seit Beginn der Vermessungen langsam vertieft und außerdem eine erhebliche Nordschwenkung von durchschnittlich  $1\frac{1}{2}$  Grad im Jahr ausführt. Dieses Tief, das vor sechzig Jahren noch fast parallel zur Küste verlief, ist heute in einem Winkel von etwa 60 Grad zur Westküste Sylts geneigt und hat in dieser Zeit seine 4 m-Tiefenlinie um rund 2000 m weiter nach Nordosten vorgeschoben. Die unmittelbare Folge hiervon ist einmal der verstärkte Abbruch der West-Ellenbogenküste, d. h. eine Verlagerung der Hauptabbruchzone nördlich des Huks und durch die Schwenkung der Achse des Tiefs von Land nach See zu eine schwache Hebung des Vorstrandes südlich des Huks. Bei dieser Entwicklung, die zweifellos im Zusammenhang mit der nordwärts gerichteten Schwenkung des Außentiefs auch künftig vor sich gehen wird, muß sich die Zone der Hauptabbrüche noch weiter nordwärts verlagern. Damit wird der Westrand der Plate in die Hauptgefahrenzone gerückt werden.

Die Verlagerungen der Haupttrinnen Außentief und Landtief seit 1868 bis



1937 sind in der Abbildung 8 schematisch dargestellt. Die Wandergeschwindigkeiten einiger Punkte seien hier angegeben:

Ende des Außentiefs	26 m/Jahr nach Nordwesten
Nordkante des westlichen Salzsandes	15 m/Jahr nach Norden
Landtiefbarre	7 m/Jahr nach Norden
Nordrand der Plate	6,5 m/Jahr nach Norden.

Die Wandergeschwindigkeiten sind zwar verhältnismäßig klein, aber stetig und lassen den Schluß zu, daß auch in Zukunft größere Veränderungen im Seegebiet entsprechend stetig vor sich gehen werden. Der Kartenvergleich zeigt ferner, daß die durch die Hauptstromrichtungen des Lister Tiefs geformten Nordkanten des Salzsandes, der Landtiefbarre und der Plate stets in einer Linie liegen, ein Umstand, der die Abschätzung zukünftiger Entwicklungen erleichtert.

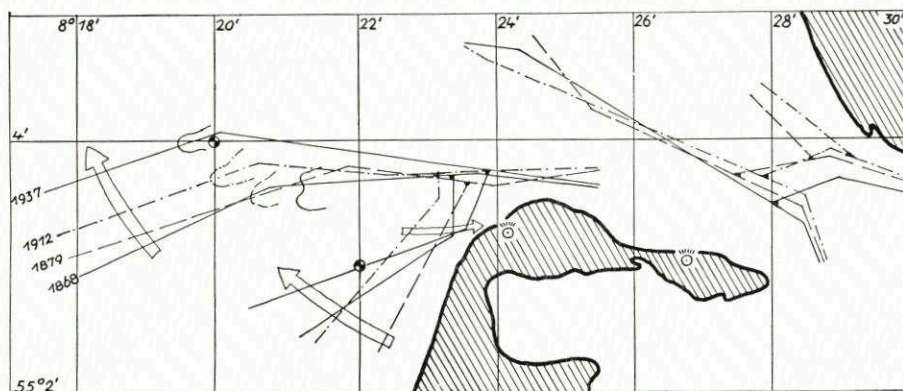


Abb. 8. Lister Tief. Verlagerung der Hauptachsen 1868 bis 1937

Die Höhenlage der einzelnen Sände und Barren ist trotz ihrer intensiven Verlagerung im allgemeinen, wie überall an der Tideküste, konstant geblieben. Diese „Grenzhöhe“ liegt z. B. für den Salzsand und die Landtiefbarre rund 2 bis 3 m und für die Außenbarre des Lister Tiefs rund 6 bis 7 m unter Tnw und muß mit den örtlichen Stromverhältnissen zusammenhängen.

Die Tiefenänderungen in der Lister Westsee südlich des engeren Untersuchungsgebietes deuten auf langsamen, aber stetigen Abtrag hin, der sich nordwärts auch in dem Vordringen des Landtiefs ausdrückt (vgl. Abb. 23).

Wenn auch die großräumigen Verlagerungen des Seegrundes als die Hauptursachen für alle weiteren Veränderungen im Küstengebiet des Ellenbogens anzusehen sind, so können doch kleinere Seegrundformen, besonders in der Nähe der Küste, durch ihre Veränderung ebenfalls mittelbar die Küstenformen beeinflussen. Hierzu gehört besonders die Landtiefbarre.

Für die später zu erörternde Stellungnahme zu den geplanten Küstenschutzmaßnahmen ist es wichtig, diese Barre und ihren Bestand genauer zu verfolgen. Die Landtiefbarre hat sich, wie jede Barre, an der Stelle des Zusammentreffens zweier Strömungen, und zwar des Landtiefs und des Außentiefs, gebildet. Da sie sich seit langem in ihrem Bestand nahezu erhalten hat, muß hier zwischen den aufbauenden und abtragenden Kräften ein Gleichgewichtszustand herrschen, der sich voraussichtlich so lange nicht ändern wird, wie die beiden Tiefs ihre Lage zueinander annähernd beibehalten und die Strömungen nach Richtung und Stärke dieselben

bleiben. Ein Abbau der Barre oder ein Durchbruch des Landtiefs zum Außentief wäre erst denkbar, wenn sich die derzeitigen Kräfteverhältnisse hier grundlegend ändern würden, wofür vorerst keine Hinweise vorliegen. Hierüber wird bei der Betrachtung der augenblicklichen Kräfteverhältnisse noch zu sprechen sein.

#### Zusammenfassung

Der Kartenvergleich für die letzten siebenzig Jahre zeigt die bisherige Entwicklung der Seegrundveränderungen eindeutig auf und läßt Rückschlüsse auf die künftige Entwicklung zu. Die Hauptergebnisse sind:

1. Das Lister Außentief und das Landtief unterliegen einer Rechtsschwenkung und damit einer Nordwärtsverlagerung. Hierbei ist die Schwenkung des Landtiefs rascher.
2. Die Verlagerungen beider Tiefs erfolgten bisher stets gleichsinnig und stehen im Zusammenhang miteinander.
3. Die 4 m-Tiefenlinie im Landtief ist um 2000 m in siebenzig Jahren nach Nordosten vorgedrungen. Dadurch wurde der Angriff auf die Ellenbogenküste verstärkt. Durch die Schwenkung der Achse des Landtiefs von Land nach See zu ist die Hauptabbruchzone nach Norden, und zwar nördlich des Huks, verlagert worden und bedroht hierdurch den westlichen Rand der Plate. Der Abbruch südlich des Huks hat nachgelassen.
4. Salzsand und Landtiefbarre sind Strombildungen und haben eine bestimmte Grenzhöhe stets eingehalten. Südlich des Salzsandes vor der übrigen Westküste Sylts ist eine langsam fortschreitende Vertiefung des Seegrundes festzustellen.

#### IV. Die verändernden Kräfte

Erst die Ermittlung der zur Zeit hier wirkenden Kräfte gibt eine Handhabe, die aus den Kartenvergleichen festgestellten Formenveränderungen richtig zu deuten und Möglichkeiten zu ihrer zweckentsprechenden Lenkung zu erkennen. Von der Forschungsabteilung sind daher im größeren Raum vor Nord-Sylt erstmalig systematische Messungen der Gezeitenströme, der Wasserstandsbewegungen und des Windes seit 1936 durchgeführt, von denen einige für die vorliegende Aufgabe wichtige Ergebnisse kurz dargelegt werden sollen.

##### 1. Wind

Neben den Gezeitenkräften kommt dem Wind durch seine mittelbare Wirkung auf Richtung und Stärke der Brandung und des Seegangs an der offenen Küste die größte Bedeutung zu. Seine Rolle als unmittelbarer Strand- und Dünenbildner im Trockenen ist zwar augenfällig, jedoch für die Frage des Küstenabbruchs am Nordwest-Ellenbogen sekundär und kann hier vernachlässigt werden.

Um Anhaltspunkte über die Windwirkung auf die Gezeitenströme und die Sandwanderung zu erhalten, sind insbesondere die resultierenden Wirkungsrichtungen der meteorologischen Station in Westerland/Sylt für den Zeitraum von 1927 bis 1936 ausgewertet worden (Abb. 9).

Auf Sylt überwiegen nach Häufigkeit und Stärke die Winde aus West, Nordwest und Südwest bei weitem. Die resultierende Richtung aller Winddruckstunden ist mit West zu Nord ermittelt. Werden die Winddruckstunden nach Komponenten quer und längs zur Küste zerlegt, so erhalten beide Küstenhälften Längskomponenten in Richtung zu den Inselenden. Die durchschnittliche strandversetzende Windwirkung ist also im Nordteil der Insel



nördlich und im Südteil der Insel südlich gerichtet. Es liegt somit eine Transportscheide vor, welche die Ausbildung des Küstenknicks in der Inselmitte fördert.

Westliche Winde bewirken den stärksten Seegang und die höchsten Wasserstände, so daß ihre Brandungswirkung an der Küste und auf den Sänden und Riffen besonders groß ist. Ablandige östliche Winde verursachen niedrige Wasserstände vor Sylt und tragen zur Strand-erhöhung bei.

## 2. Gezeiten

Die Gezeitenkräfte bewirken die Veränderungen der Küste mittels Strömung und Seegang, die je nach dem herrschenden Wasserstand bei der Sandwanderung mehr oder weniger zusammenarbeiten.

### a) Wasserstand

Abgesehen davon, daß die Stärke der Brandung von den Wassertiefen vor der Küste abhängt, ist die Kenntnis der Wasserstände in diesem Zusammenhang insofern von Belang, als vor allem die Größe des Tidehubs die Stromgeschwindigkeiten im Bereich des Lister Tiefs bestimmt.

Es folgen kurze Angaben über die Pegelhauptwerte im Bereich von Nord-Sylt (Abb. 10).

Die Abnahme des Tidehubs längs der schleswig-holsteinisch-jütischen Westküste von Süden nach Norden kommt auch an der Sylter Küste zum Ausdruck:

Hörnum	175 cm	Ellenbogen	160 cm
Westerland	168 cm	List	156 cm.

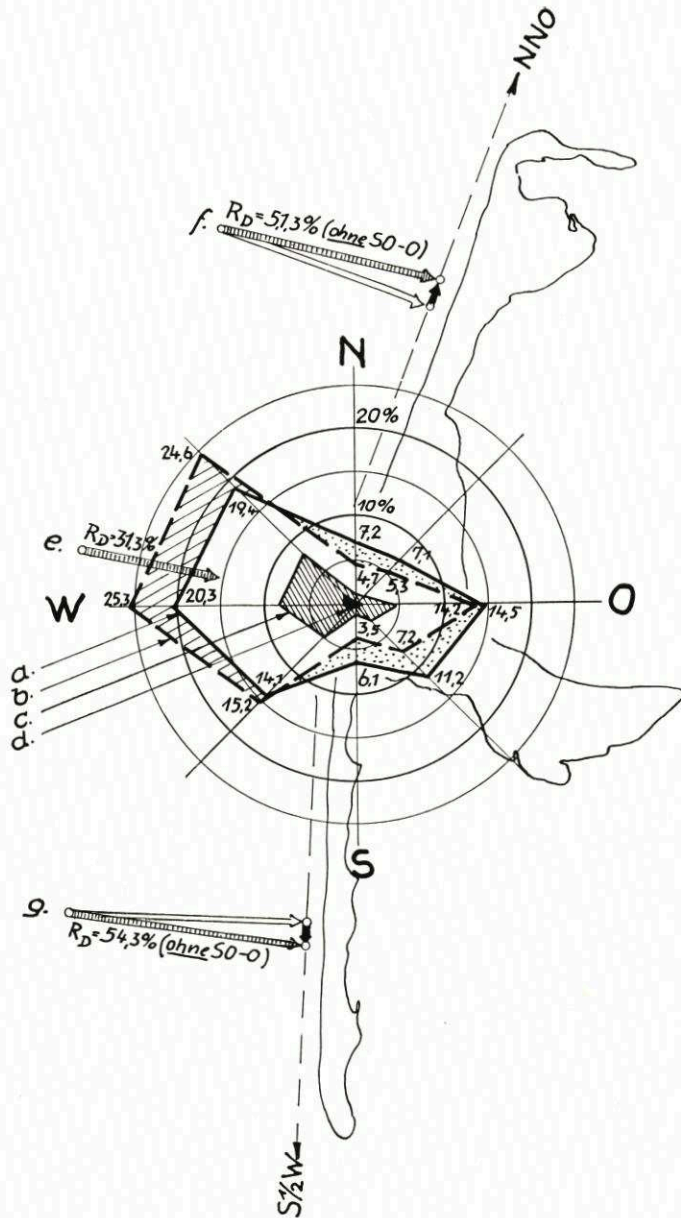


Abb. 9. Mittlere Windverteilung Westerland/Sylt 1927 bis 1936 und ihr Einfluß auf den Strandversatz an der Sylter Westküste (Erläuterung S. 34)

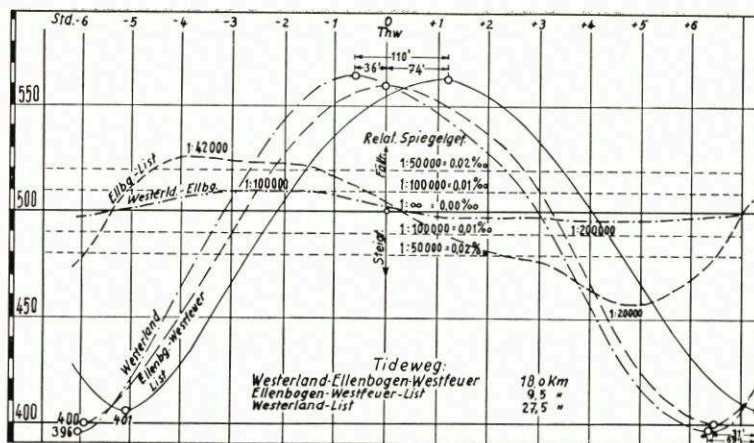


Abb. 10. Mittlere Tidekurven und Spiegelgefälle um Nord-Sylt  
(Erläuterung S. 34)

Einen Anhalt für das Verhältnis der Stromgeschwindigkeiten gibt das aus den mittleren Tidekurven ermittelte relative Wasserspiegelgefälle zwischen den einzelnen Pegelorten. Danach beträgt bei mittlerer Tide das absolute bzw. relative Höchstgefälle:

Ort	Entfernung	Höchstes Wasserspiegelgefälle			
		Flut		Ebbe	
		absolut	relativ	absolut	relativ
Westerland	18 km	18 cm	1 : 100 000	10 cm	1 : 200 000
Ellenbogen	10 km	25 cm	1 : 42 000	42 cm	1 : 20 000
List					

Längs der Westküste der Insel überwiegt also das Flutgefälle, im Lister Tief jedoch das Ebbegefälle. Demgemäß ist auch durch die Strommessungen vor der Westküste Sylts stärkerer Flutstrom, im Lister Tief aber stärkerer Ebbestrom festgestellt worden.

#### b) Strömung

Seit 1936 sind insgesamt 56 Strommessungen mit dem RAUSCHELBACHSchen Strommeßgerät ausgeführt worden. Sie sind in den Jahren 1936 und 1937 so angeordnet (Abb. 11), daß mit ihnen der Wasseraustausch an allen drei Grenzen des Mündungsgebietes des Lister Tiefs erfaßt wird. Weitere, hier nicht ausgewertete Meßstellen dienen besonderen Zwecken.

Die Ausführung der Strommessungen war auf Wetterlagen mit westlichem Wind bis Stärke 4 Bft. und östlichem Wind bis 6 Bft. beschränkt.

Die bei verschiedenen Tidehuben gemessenen Stromgeschwindigkeiten jeder Meßstelle sind mit Hilfe der Steig- und Fallgeschwindigkeiten auf mittlere Tide umgerechnet. Geschwindigkeit und Richtung des Stromes für volle Flut und volle Ebbe sind auf Abbildung 11 dargestellt.

Im Gesamtgebiet sind drei Stromarten zu unterscheiden, die durch die Darstellung der Meßergebnisse in Form von Vektorketten in den Abbildungen 12 und 13 veranschaulicht sind.

1. Der straffgeführte alternierende Strom im Lister Außentief und im Landtief (rasches Kentern des Stromes um 180 Grad).



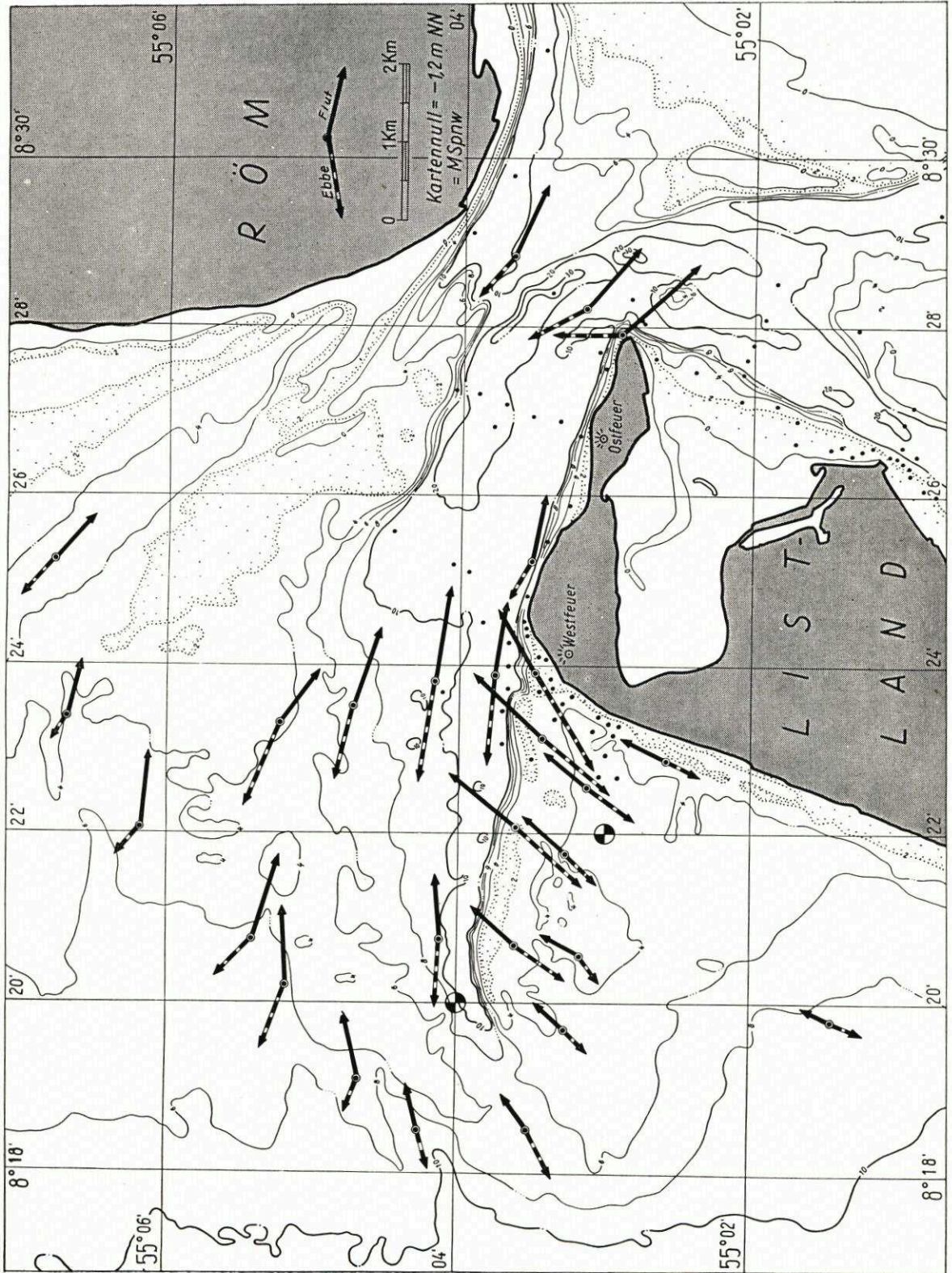


Abb. 11. Flut- und Ebbestrom im Lister Tief (Erläuterung S. 34)



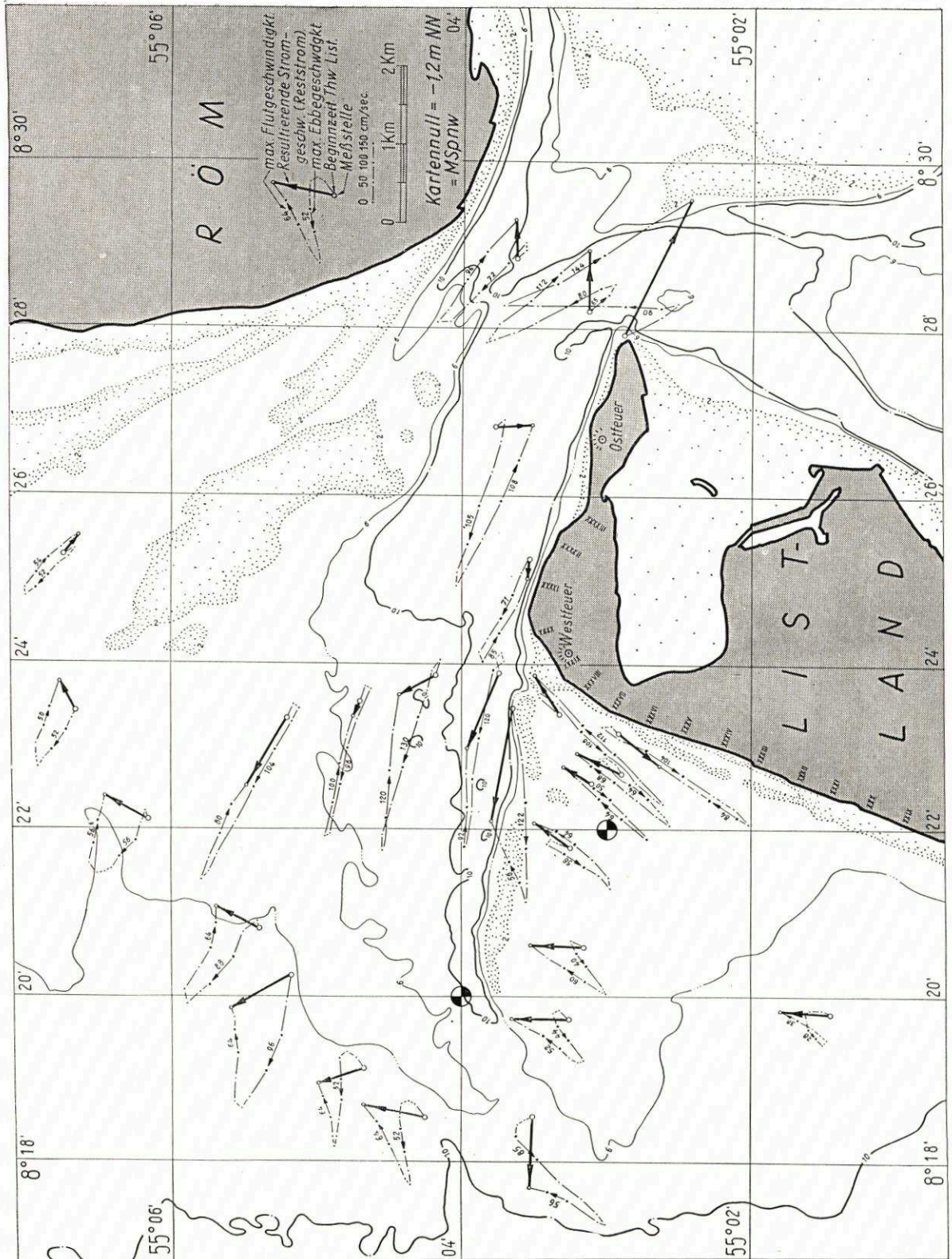


Abb. 12. Oberflächenströmung Lister Tief (Erläuterung S. 34)





Abb. 13. Oberflächen- und Grundstrom vor West-Ellebogen (Erläuterung S. 35)



2. Der versetzt alternierende Strom über dem Salzsand (schnelles Stromkatern, aber Ebbe- und Flutstromrichtung im stumpfen Winkel zueinander).
3. Der die offene See kennzeichnende Drehstrom außerhalb der Stromrinnen (langsames Kentern unter Drehen über alle Richtungen).

Aus der straffen Richtung der alternierenden Ströme in den Stromrinnen und über den Salzsand ist zu schließen, daß diese Strömung durch Wind und Seegang nicht wesentlich beeinflusst wird. Für den Bereich der offenen See ist dagegen anzunehmen, daß starke Winde die Richtung und Stärke des schwachen Drehstroms ändern können.

Größe und Richtung des Stromes im Lister Außentief sind durch die straffe Führung der großen Wassermengen in diesem 20 bis 30 m tiefen und bis zu 3000 m breiten Stromtief bestimmt. Gegenläufige Stromrichtungen zwischen Oberflächen- und Grundstrom sind nicht beobachtet worden. Die Größtwerte der Stromgeschwindigkeiten treten im Oberflächenstrom auf, um von oben nach unten parabelförmig abzunehmen.

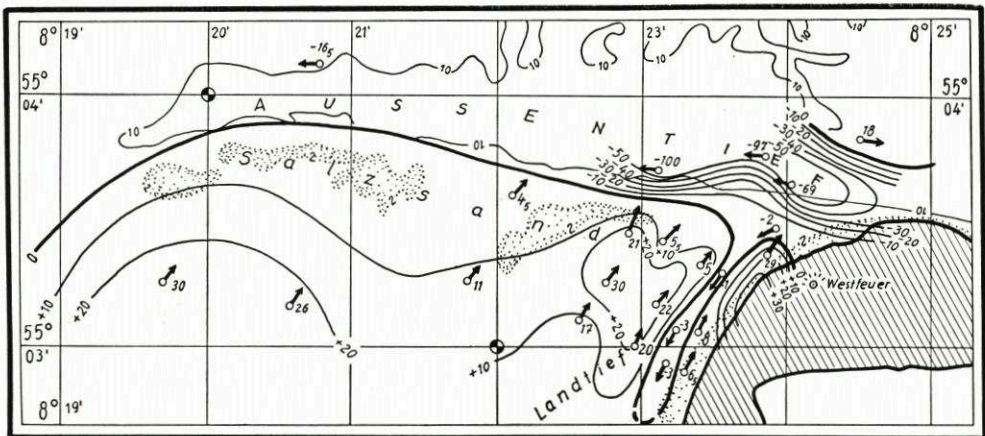


Abb. 14. Verteilung des Durchflußmengen-Überschusses einer Tide vor West-Ellenbogen  
Unterschied ( $\Delta \Sigma Q'$ ) der durch einen 1 m breiten Streifen in mittl. Flut- und Ebberichtung geflossenen Wassermengen in 1000 m<sup>3</sup>/lfdm. Flutrichtung positiv. Gemessen 1936—1938. Geschwindigkeiten bezogen auf mittlere Tide List

Das Außentief beherrscht mit seinen großen Wassermengen eindeutig auch die Strömung des übrigen Gebiets und lenkt den nach Nordosten über den Salzsand setzenden Flutstrom (s. Abb. 11) geschlossen in östlicher Richtung ab. Besonders plötzlich erfolgt diese Ablenkung bei dem aus dem Landtief kommenden, unmittelbar unter Land streichenden starken Flutstrom. Die aus dem Landtief in das Außentief fließenden Wassermassen werden an der Engstelle zwischen dem Salzsand und der Küste straff zusammengefaßt und gegen die Küste gedrängt. Sie sind aber trotz der großen Stromgeschwindigkeiten (max 140 cm/s) nicht in der Lage, den Flutstrom im Außentief abzulenken. Dieser Umstand ist einer der Gründe, weshalb unter den jetzigen Verhältnissen ein Durchbruch vom Landtief zum Außentief nicht stattfindet; das Landtief führt, bezogen auf 1 lfdm Querschnitt, bei Flut nur etwa den dritten Teil der entsprechenden Wassermenge im Außentief.

Der Ebbestrom (s. Abb. 11) wird aus dem Lister Außentief mit großer Geschwindigkeit nach Westen und fächerartig nach allen Seiten über die Außensände geführt; über dem westlichen Salzsand z. B. unter schwacher Ablenkung nach Südwesten. Nur zum Landtief werden unmittelbar unter der Küste die Wassermassen wieder in scharfer Bündelung aus dem Außentief um fast 90 Grad entsprechend dem Gefälle nach Süden abgelenkt. Diese Strombündelung macht sich noch rund 2 km südwestlich der Landtiefbarre bemerkbar, sie ist beim

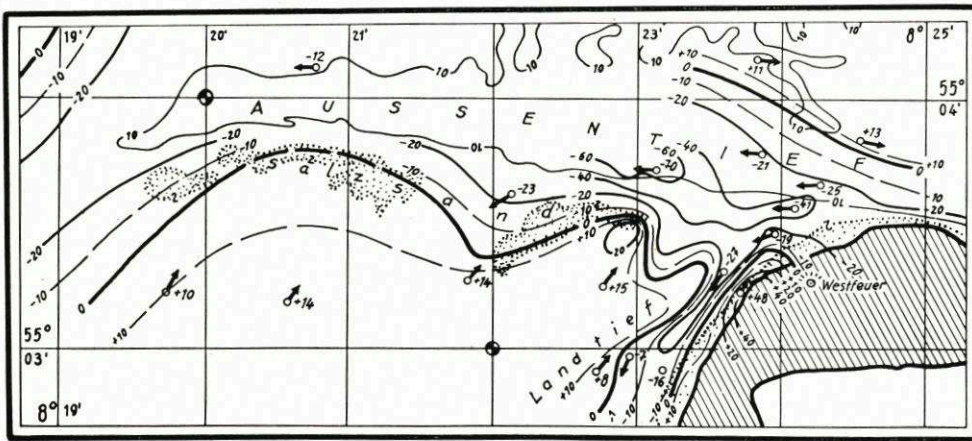


Ebbestrom ausgeprägter als beim Flutstrom. Ebbe- und Flutstrom sind im Landtief infolge der straffen Stromführung und der hohen Geschwindigkeiten um 180 Grad versetzt.

Die größten Geschwindigkeiten überhaupt treten im Landtief über der Zunge, einer flachen Sandbank querab vom Westfeuer, auf. Die im südlichen Landtief gleichmäßig verteilten Geschwindigkeiten von 60 bis 70 cm/s steigen hier beim Überströmen der Landtiefbarre bis zu Höchstwerten von 140 cm/s bei Flut und 150 cm/s bei Ebbe an. Diese Geschwindigkeitserhöhung ist der Querschnittseinengung über der Landtiefbarre zuzuschreiben.

Bei Flut ist gleich nach dem Übertritt über Landtiefbarre und Salzsand deutlich eine Geschwindigkeitsabnahme erkennbar, die durch den Stau im tiefen Wasser des Außentiefs hervorgerufen wird.

Die für die Sandwanderung wichtige resultierende Tideströmung, d. h. die aus Flut- und Ebbestrom resultierende Wasserversetzung bei mittlerer Tide, ist in den Abbildungen 12 und 13 durch die Eintragung der sogenannten „Restströme“ kenntlich gemacht. Im ganzen





Daß der Salzsandrücken eine Wassertransportscheide ist, war zu vermuten. Unerwartet ist dagegen die schmale Zone überwiegender Ebbe, die sich aus dem Außentief quer über die Landtiefbarre bis weit nach Süden in das Landtief hinein erstreckt. Der Ebbeüberschuß ist in dieser Zone nicht kräftig, aber örtlich einheitlich (vgl. auch Abb. 15).

Die Strommessungen haben für mittlere Tide folgendes Bild ergeben:

1. Im Untersuchungsgebiet treten drei kennzeichnende Stromarten auf, die Rückschlüsse auf ihre Kraftwirkungen und auf ihre Abhängigkeit vom Wind und Seegang zulassen.
2. Die Maximal-Geschwindigkeiten überhaupt, bis zu 150 cm/s, treten hart unter der West-Ellenbogenküste über der Landtiefbarre auf.
3. Den Durchflusssmengen nach ist das Landtief trotz höchster Stromgeschwindigkeiten nur eine untergeordnete Abzweigung des Außentiefs. Die Stromrichtung des Außentiefs wird durch das Landtief nicht abgelenkt. Solange das Übergewicht des Außentiefs anhält und die beiden Hauptstromrichtungen ihre Lage zueinander nicht wesentlich ändern, besteht an der Landtiefbarre keine Durchbruchgefahr.
4. Durch Wassermengenvergleich werden Grenzen der Flut- und Ebbeüberschußgebiete bestimmt. Die Hauptgrenze zieht vom Westfeuer über Landtiefbarre und Salzsandrücken nach Westen und scheidet das Außentief mit Ebbeüberschuß von dem Salzsand und dem Landtief mit Flutüberschuß.
5. Mitten im Landtief mit allgemein überwiegender Flut verläuft ein schmaler Streifen mit geringem Ebbeüberschuß.
6. Die resultierende Tideströmung im Mündungsgebiet des Lister Tiefs ist nördlich gerichtet. Hiermit steht die Wanderung der Seegrundformen im Einklang.

Die bisher durchgeführten Strommessungen geben das Kräftebild bei ruhiger Wetterlage bis etwa Windstärke 4 Bft. wieder, das durch starke Winde und Stürme Änderungen erfahren kann. Da der Strom bei Sturmfluten gerätemäßig noch nicht meßbar war, werden Anhaltspunkte zur Bestimmung ihres Einflusses gesucht.

Unter der annähernd zutreffenden Voraussetzung, daß die Stromgeschwindigkeiten von den Steig- und Fallgeschwindigkeiten linear abhängen, kann gefolgert werden, daß die möglichen Sturmflutgeschwindigkeiten, die immer nur kurze Zeit auftreten, die ermittelten Werte der Normaltiden nicht um mehr als 60 % übersteigen.

Dabei wachsen die Stromgeschwindigkeiten über der Landtiefbarre langsamer als im Landtief oder im Außentief.

Selbst im ungünstigsten Fall dürften die größten Stromgeschwindigkeiten an der Oberfläche nicht über folgende Werte steigen:

über der Landtiefbarre	von 150 cm/s nicht über 250 cm/s
im Landtief	von 65 cm/s nicht über 110 cm/s
im Außentief	von 120 cm/s nicht über 200 cm/s.

Die zugehörigen Stromgeschwindigkeiten über dem Grund, die für die Sandwanderung maßgebend sind, betragen etwa 75 % der Geschwindigkeiten an der Oberfläche.

Als Beleg für die geschätzten Stromgeschwindigkeiten wird auf Abbildung 16 eine Untersuchung von Stromgeschwindigkeiten im Norderneyer Seegat während der Sturmflutperiode 21./25. November 1930 beigelegt, wo die Erhöhung der Stromgeschwindigkeiten gegenüber dem Wert bei mittlerer Tide zu 50 % ermittelt wurde.

Die Verstärkung des Gezeitenstroms bei Sturmfluten ist somit in ihrer Auswirkung auf den Sandtransport sicher geringer, als die Wirkung des bei Sturmfluten erheblich gesteigerten Seegangs. Da der Seegang in stärkerem Maße eine lösende als transportierende Wirkung hat — abgesehen von der strandnahen Brandungszone —, wird wegen der nur geringen Ablenkung



der Hauptstromrichtungen von denen der Normaltiden auch das hiernach abgeleitete Sandwanderungsbild wahrscheinlich bei Sturmfluten nicht grundlegend verändert (vgl. Abschn. V 1). — Der abschließende Beweis hierfür kann allerdings zur Zeit nicht geführt werden.

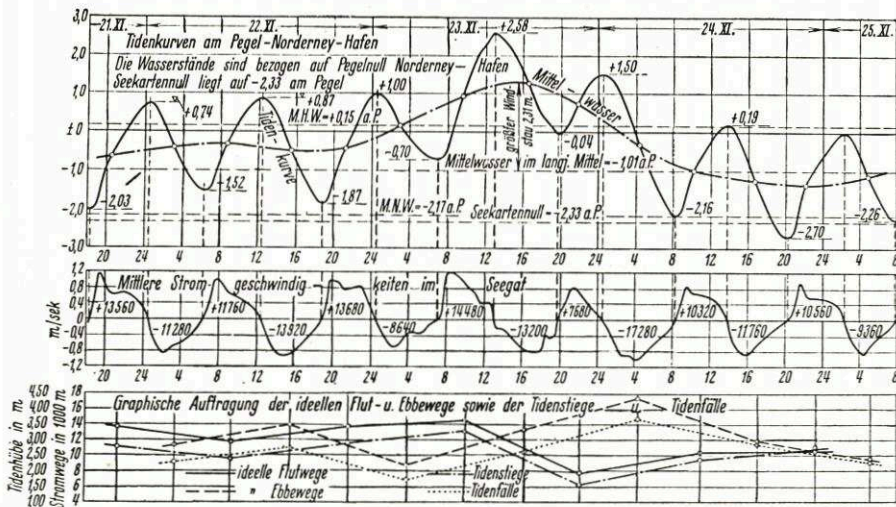


Abb. 16. Die mittleren Stromgeschwindigkeiten im Norderneyer Seegat während der Sturmflutperiode vom 21. bis 25. November 1930 (nach WALTHER, 1934)

## V. Auswirkung der verändernden Kräfte

Aus Seekartenvergleichen, neueren Meßergebnissen sowie Gezeiten- und Windbeobachtungen sind für die Wandlungen der Küsten- und Seegrundformen Zusammenhänge aufgezeigt worden. Es bleibt nachzuweisen, wie die Sandwanderung mit den Gestaltungskräften in Beziehung steht.

## 1. Sandwanderung

Hierbei wird nach den hauptsächlichen Erscheinungsformen unterschieden zwischen a) der durch den Gezeitenstrom allein hervorgerufenen Sandverfrachtung oder der „Stromdrift“ und b) der durch schrägauf laufende Brandung erzeugten Sandverfrachtung längs des Strandes oder dem „Strandversatz“.

a) **Stromdrift**

Mit relativem Erfolg konnte die Stromdrift bei ruhigem Wetter mit der LÜDERSschen Sandfalle ermittelt werden, deren allgemeine Anzeigezuverlässigkeit hier nicht untersucht werden soll. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Zuverlässigkeit der Sandfallenmessungen von bestimmten örtlichen Voraussetzungen abhängt, die im Untersuchungsgebiet außer auf der Landtieffarre im allgemeinen gegeben zu sein scheinen (Beispielmeßergebnis Abb. 17). Die großen Stromgeschwindigkeiten und das unruhige Bodenrelief der Landtieffarre erschweren direkte Sandmengenmessungen. Sie sind hier auch entbehrlich, weil die durch den Seekartenvergleich festgestellte Tatsache einer Nordverschiebung der Barrenkante um 6 m jährlich die Sandwanderung in Flutrichtung nach Norden beweist. Die Ergebnisse der Sandfallenmessungen sind in Abbildung 18 ausgewertet.

Im Landtief sind bei ruhigem Wetter die Sandmengen wegen des schwachen Grundstromes von rund 40 bis 50 cm/s sehr gering. Bei Flut ist die verfrachtete Menge rund doppelt so groß wie bei Ebbe, was eine viermal wiederholte Kontrollmessung (Nr. 134c auf Abb. 13)

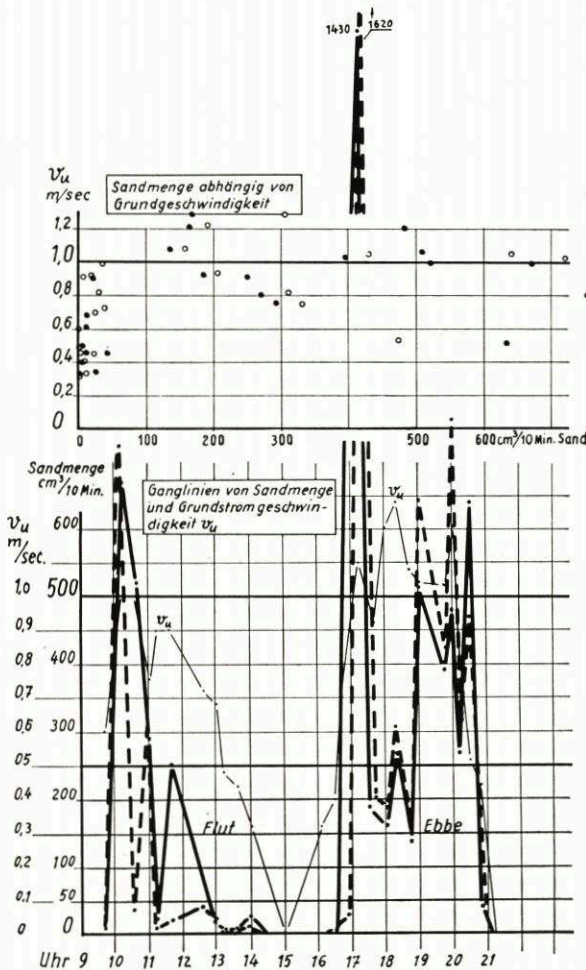


Abb. 17. Diagramm einer Sandfallen-Kontrollmessung im Lister Tief vor West-Ellenbogen<sup>3)</sup>

material aufgebaut werden, das durch den Strandversatz an der Küste entlang herbeigeschafft wird.

In Übereinstimmung mit den Strombildern (Abb. 14 u. 15) zeigt auch Abbildung 18 innerhalb eines allgemeinen Flutsandüberschußgebiets einen ausgeprägten Streifen mit Ebbesandüberschuß, der querab vom Huk küstenparallel nach Südwesten verläuft. Die Bildung des Ellenbogen-Steert wird hiermit zusammenhängen.

Aus technischen Gründen konnte die Sandfalle nicht an jeder der 56 Strommeßstellen angesetzt werden. Ein Vergleich der Strommessungen mit den gleichzeitig ausgeführten Sand-

bestätigt hat. Der Sand wandert also nach Norden und gehorcht somit dem festgestellten nordwärts gerichteten Reststrom. Alle weiteren, westlich von Meßstelle 134 auf dem Südhang des Salzsandes gelegenen Meßstellen zeigen ebenfalls nördlichen Reststrom, so daß hieraus rückschließend auf eine allgemeine nordwärts gerichtete Sandwanderung bei ruhigem Wetter geschlossen wird.

Im Außentief überwiegt im Einklang mit dem Strombild der Sandtransport in Ebberichtung. Die Sandtransportscheide zwischen Flutsandüberschuß im Süden und Ebbesandüberschuß im Außentief konnte damit auf Grund der Messungen festgelegt werden. Sie läuft vom Westfeuer über die Zunge und die Landtiefkante nach Westen und deckt sich also mit der aus Abbildung 14 ersichtlichen Wassertransportscheide. Der über die Landtiefbarre gelangende Sand wird, soweit er nicht zum Vorbau der Barre nach Norden benutzt wird, im Außentief bei Ebbe nach Westen zur See und nicht nach Osten an die Plate geschafft. Wider Erwarten ist somit die Plate keine reine Strombildung, sondern eine durch Strandversatz hervorgerufene Bildung. Sie kann hauptsächlich nur aus dem Ma-

<sup>3)</sup> Strommeßstelle 152b, Landtiefkante, 4. Mai 1939. Wassertiefe 6 m unter Mittelwasser. Dampfer Rungholt, 20 m lang. Gleichzeitige Messung mit zwei LÜDERSSchen Sandfallen: Falle 1 am Heck, Falle 2 am Bug.



fallenmessungen ergibt aber, daß sich — von unerheblichen Sonderfällen abgesehen — die resultierende Richtung des Stromes und der Sandwanderung decken. Somit haben die Reststrombilder, die für den größeren Raum auf Abbildung 12 und für den engeren Ellenbogenbereich auf Abbildung 13 aufgetragen sind, zugleich auch Geltung für die Richtung der Sandwanderung. Zur Sicherheit sind außerdem die Restströme nur aus denjenigen Bodenströmen

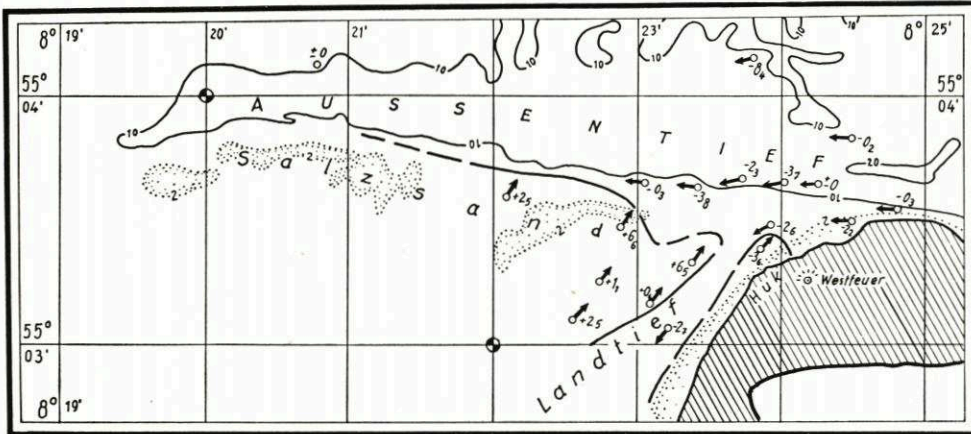


Abb. 18. Verteilung des Sandtransportüberschusses von Flut und Ebbe vor West-Ellenbogen (Erläuterung S. 35)

mit  $v \geq 40$  cm/s gebildet, die nachweislich Sand bewegen (Abb. 19). Auch diese Darstellung zeigt die vor der Westküste nach Norden gerichteten Resultierenden.

Über die absolute Menge des bewegten Sandes sagen die Restströme an und für sich jedoch nichts aus.

Zusammengefaßt kann aus den bei ruhiger Wetterlage gewonnenen Meßergebnissen der Sandfallenmessungen für die Stromdrift gefolgert werden:

1. Die aus dem Strommeßergebnis gezogenen Folgerungen für die Sandwanderungsrichtung werden durch das Ergebnis einiger zuverlässiger Sandfallenmessungen bestätigt.
2. Der normale Tidestrom verfrachtet Sand von Süden über den Salzsand und die Landtiefbarre hinweg nach Norden. Im Außentief wird ein Sandüberschuß durch den Ebbestrom seewärts abgeführt.
3. Die Plate wird nicht durch die Stromdrift, sondern überwiegend durch den Strandversatz gespeist (vgl. folgenden Abschnitt).
4. Vor der Küstenstrecke südlich vom Huk liegt ein schmaler Streifen mit Ebbesandüberschuß, der mit der dortigen Riffbildung Ellenbogen-Steert zusammenhängt.

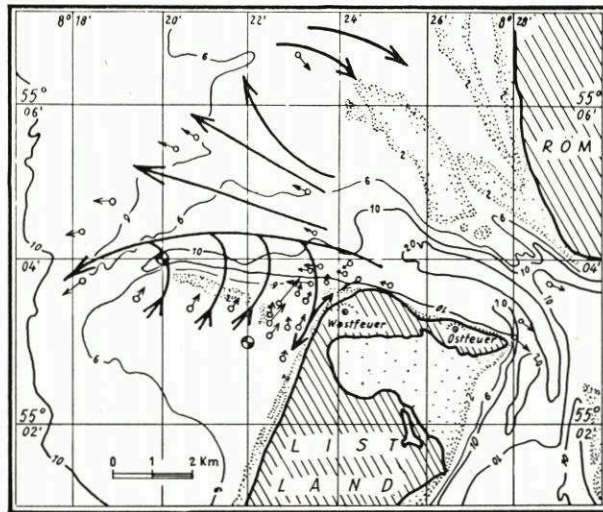


Abb. 19. Resultierende Grundströmung und Sandwanderung im Lister Tief (Erläuterung S. 35)

## b. Strandversatz

Beträchtliche Sandmengen werden längs der Küste bei schräg auflaufender Brandung durch den Strandversatz verfrachtet, der sich nicht nur auf den „nassen“ Strand erstreckt, sondern auch erheblich weiter seewärts wirkt. Eine Anschauung von der Stärke und Richtung des Strandversatzes gewinnt man aus der Beobachtung, daß an der ganzen Westküste Listlands bis zur Plate hinauf auf Niedrigwasserhöhe Geröllfelder mit Steinen bis zu doppelter Kopfgröße liegen, die aus dem etwa 10 km entfernt liegenden Roten Kliff stammen. Auf der Plate wurde ein Betonblock von 30 kg Gewicht gefunden, dessen Herkunftsort nachweislich  $1\frac{1}{2}$  km südlich lag.

Die Menge des Strandversatzes vor dem Westfeuer ist folgendermaßen nachweisbar: Da die Ergebnisse der Strom- und Sandwanderungsmessungen eine Sandbelieferung der Plate durch Stromdrift fast ganz ausschließen, muß das Aufbaumaterial auf der Strecke Westfeuer-Plate, entgegen dem nachgewiesenen Überwiegen des Ebbestroms, durch Strandversatz verfrachtet sein. Aus der bekannten jährlichen Anwachsmasse ergibt sich die notwendige Anfuhrleistung des Strandversatzes zu rund  $600 \text{ m}^3$  täglich. Da der Ebbeabtrag an der Nordkante nicht berücksichtigt ist, ist dies ein Mindestwert.

Ein Vergleich mit amerikanischen Untersuchungen (TIMMERMANN, 1935) an der kalifornischen Sandküste zeigt vergleichsweise, daß sich dort beim mäßigen Seegang der Strandversatz bis 120 m seewärts der Uferlinie auswirkt und Sandmengen von  $2500 \text{ m}^3$  täglich verfrachten kann.

Während der Strandversatz auch ohne Strom entsteht, wirken sich im freien Wasser der Seegang und die Brandung hauptsächlich dadurch auf die Sandwanderung aus, daß sie die Sandteilchen vom Boden lösen und dem Gezeitenstrom zur Verfrachtung übergeben. Auf diese Weise kann auch schwacher Strom, der allein keinen Sand fördern könnte, beträchtliche Sandmengen verschleppen.

Wie sich der Anteil der Sturmfluten und Normaltiden auf die gesamte Sandwanderung verteilt, soll ein Rechenbeispiel zeigen, das jedoch auf zahlenmäßige Genauigkeit keinen Anspruch machen kann, wohl aber die in Betracht kommenden Größenordnungen umreißt. Überträgt man die – bei ruhigem Wetter mit der Sandfalle wiederholt gemessenen – Sandmengen einzelner Meßstellen auf den insgesamt 5 km langen Salzsand-Südhang, so ergibt sich, daß in jeder Tide rund  $15 \text{ m}^3$  als Überschuß des Fluttransports über den Salzsand nach Norden geschoben werden. Demgegenüber beträgt die in der Zeit von 1912 bis 1938 nach einem Seekartenvergleich nach Norden gewanderte Gesamtmenge etwa  $160\,000 \text{ m}^3/\text{Jahr}$  oder  $230 \text{ m}^3$  je Tide (Abb. 22). Zählt man zu den Sturmfluten alle Fluten mit einem Wasserstand höher als 50 cm über MThw, das sind für das Jahr 1938 etwa 20 % aller Tiden, so folgt hieraus, daß im Durchschnitt jede Sturmfluttide mit rund  $1000 \text{ m}^3$  etwa die siebzigfache Sandmenge einer Normaltide verfrachtet und die Gesamtleistung aller Sturmfluttiden im Jahre etwa zwanzigmal so groß ist wie diejenige aller Normaltiden.

Die Menge der jährlichen Sandwanderung wird demnach wesentlich von den Sturmfluten bestimmt. Die Frage bleibt, ob die für ruhige Wetterlagen festgestellten Sandwanderrichtungen maßgeblich durch Sturmfluten verändert werden. Wie die Windauswertungen zeigen, sind die West-, Nordwest- und Südweststürme vor Sylt am häufigsten und auch in ihrer Wirkungsdauer am größten. Das bedeutet, daß die Stürme mit dem Flutstrom streichen, und deshalb die Sandwanderung am ehesten in Flutstromrichtung verstärkt wird. Abgesehen von einer Strombeschleunigung der mit dem Winde anlaufenden Sturmflut ist auch der Seegang und damit die lösende Kraft länger und schwerer, wenn er mit dem Strom (Flut) läuft als gegen den Strom (Ebbe).



Jede Sturmflut wird also im Bereich des Lister Tiefs die Sandwanderung vorwiegend in Flutrichtung verstärken.

Südwestliche und westliche Stürme werden große Sandmengen, vornehmlich in der Lister Westsee aufrühren und nach Norden über den Salzsand hinweg in das Außentief verfrachten (vgl. die oben errechneten Mengen). Nur Nord- und Nordweststürme könnten, wenn überhaupt, im Gebiet des Salzsandes und der Lister Westsee zeitweilig eine rückläufige Wanderbewegung des Sandes in südlicher Richtung auslösen. Da aber ohnehin bei Nord- und Nordweststurm der Seegang an den Außensänden stark gebrochen wird, kommen Stürme aus diesen Richtungen nicht in dem Maße am West-Ellenbogen zur Wirkung, wie die Südwest- und Weststürme.

Im Seegebiet vor dem West-Ellenbogen bleibt demnach die Hauptsandwanderung auch bei Sturmfluten nach Norden gerichtet. Die bei normalen Wetterlagen ermittelten Sandwanderungsrichtungen behalten bei Sturmfluten ihre Gültigkeit im wesentlichen bei.

## 2. Veränderung der Seegrund- und Küstengestalt

Die bisherigen Anschauungen, wonach ein fester „schmaler Rücken durch den baldigen Durchbruch des Landtiefs in das Außentief hinein in seinem Bestand bedroht“ und nur durch „Abdämmung“ des Landtiefs zu erhalten sei (MÜLLER-FISCHER, 1938), finden in den Untersuchungsergebnissen über die Bildung und den Bestand der Landtiefbarre und des Salzsandes ebenso wenig eine Stütze wie im geologischen Befund.

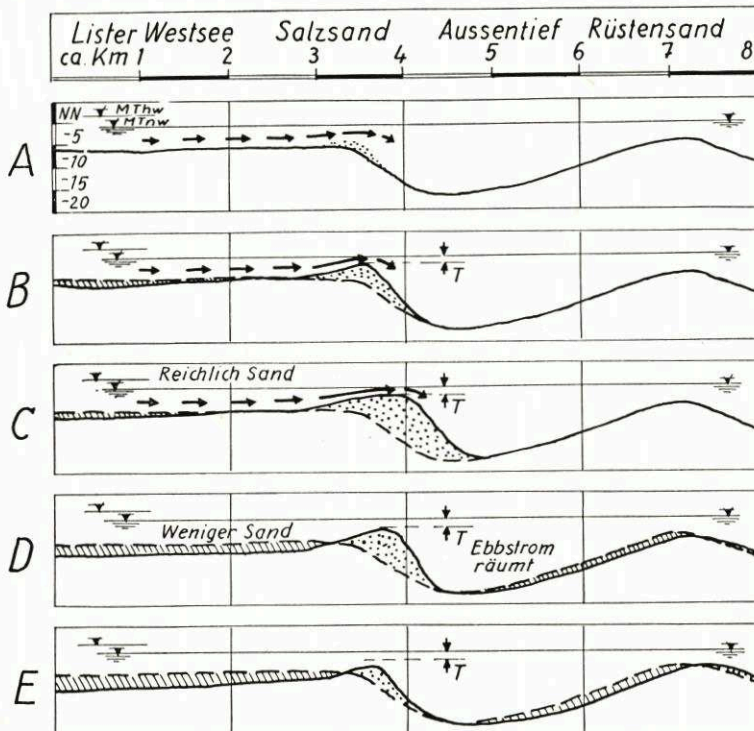


Abb. 20. Schema des Auf- und Abbaues des Salzsandes (und der Landtiefbarre)  
(Erläuterung S. 35)

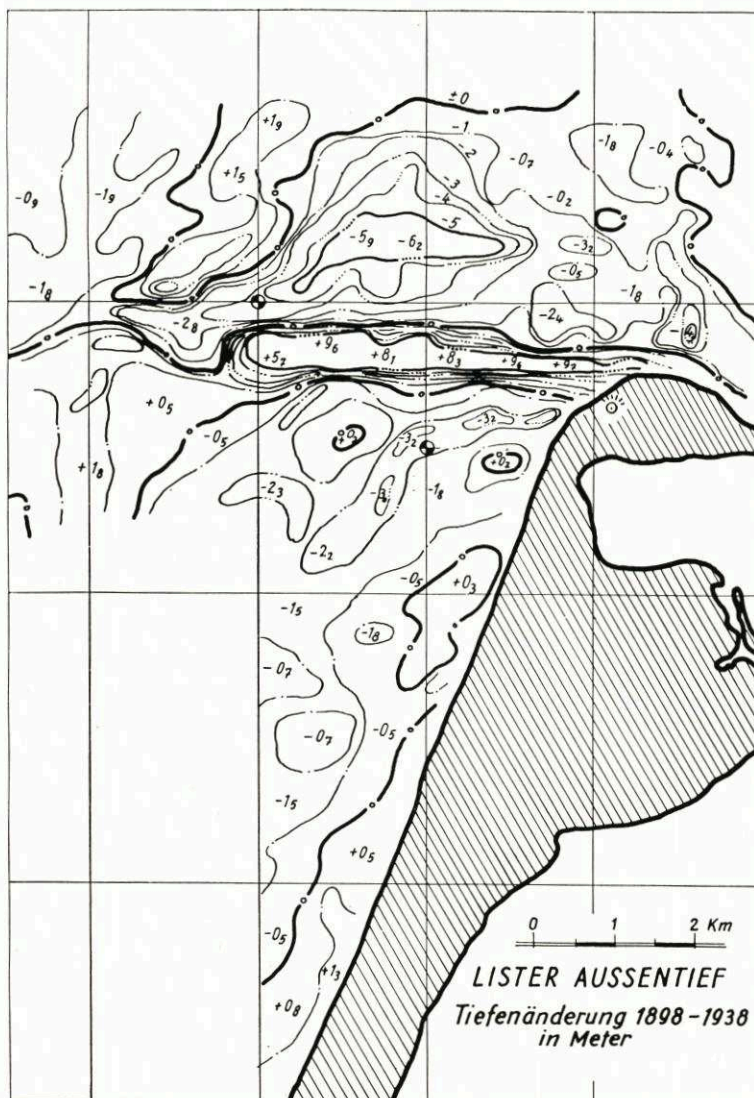


Abb. 21. Tiefenänderung von 1898 bis 1938 im Mündungsgebiet des Lister Tiefs  
 Nach den Arbeitskarten zu den Seekarten der Kriegsmarine ermittelt. Auftrag positiv. Abtrag negativ.  
 Tiefenänderung in m

Salzsand und Landtiefbarre sind, wie nachgewiesen wurde, Strombildungen aus losem, leicht beweglichem Sand und als „Barren“ anzusprechen. Über den möglichen Auf- und Abbau dieser Sandbildungen gibt Abbildung 20 eine Vorstellung. Ihr Bestand hängt von der Voraussetzung ab, daß das derzeitige Verhältnis der Stromkräfte und eine ständige Sandzufuhr wie bisher fortbestehen. Beide Barren haben, wie der Kartenvergleich der letzten siebenzig Jahre zeigt, stets eine den Barren eigentümliche Grenzhöhe behalten, was auf eine Beständigkeit der Kräfteverhältnisse in diesem Gebiet schließen läßt.

Während die Erhaltung der konstanten Rückenhöhe derartiger Barren an sich schon ständig neue Sandzufuhr auf der Luvseite verlangt, ist es das Besondere an Salzsand und Landtiefbarre,



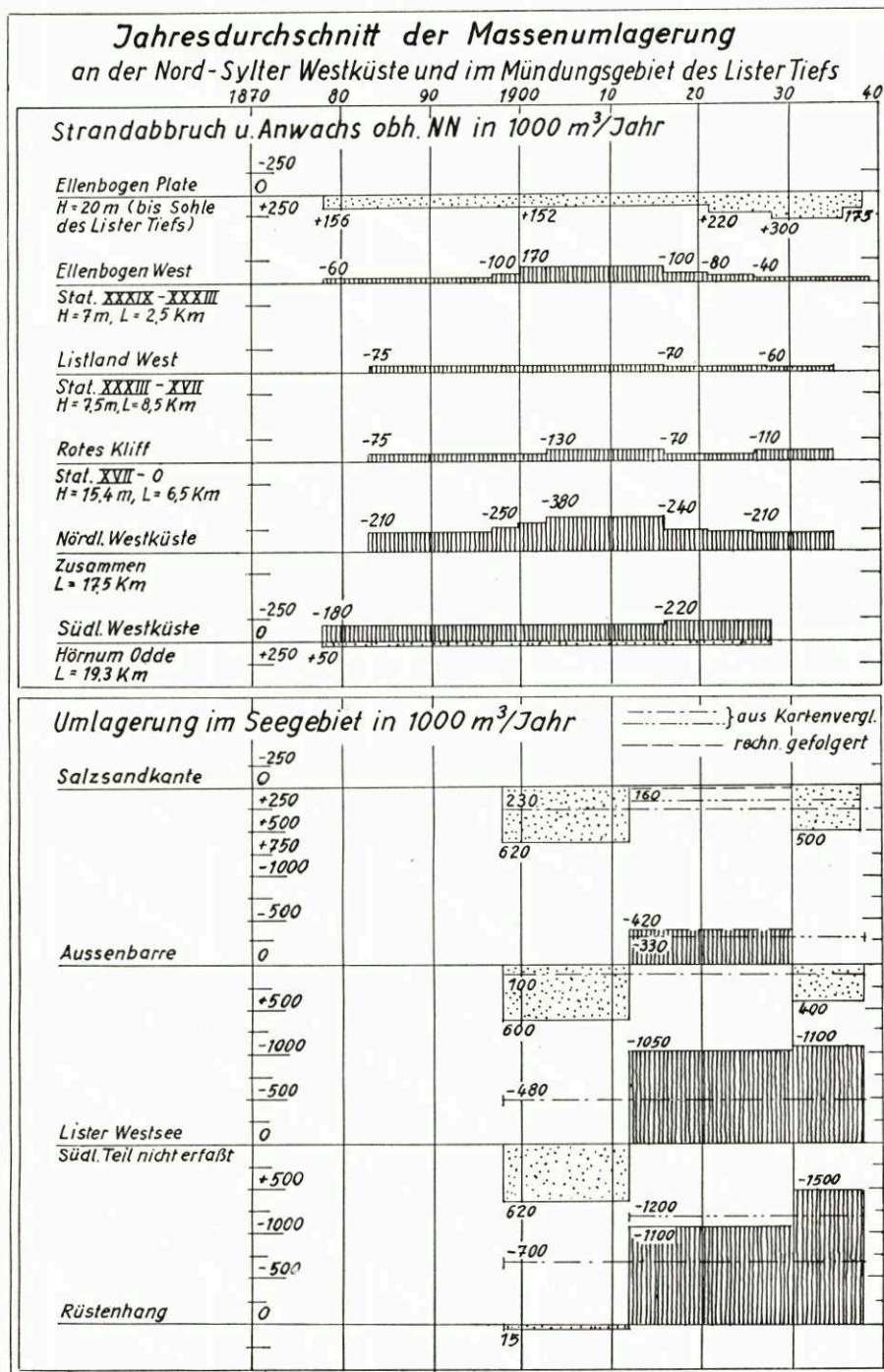


Abb. 22. Jahresdurchschnitt der Massenumlagerung im Mündungsgebiet des Lister Tiefs und an der Nord-Sylter Westküste 1878 bis 1939 in 1000 m<sup>3</sup>/Jahr

daß der Sand an der Leeseite im Norden nur zum Teil liegen bleibt, zum Teil aber durch den überwiegenden Ebbestrom des Außentiefs nach See abgeführt wird. Die Sandanfuhr von Süden muß also gleich oder größer sein als die Sandabfuhr im Außentief. Ist sie größer, verbreitern sich die Sände, läßt sie nach, werden sie schmaler. Ihre Höhe wird aber erst dann abnehmen, wenn sich Luv- und Leehang mit kleiner werdendem Umfang des Sandes berühren. Selbst wenn die Sandzufuhr plötzlich ganz aufhörte, würden diese Sände nur allmählich niedriger werden, da sie den zur Höherhaltung benötigten Sand zunächst aus der eigenen Masse am Luvhang entnehmen könnten.

Da nach der bisherigen Entwicklung ein plötzliches Versiegen der südlich gelegenen Sandquelle nicht zu erwarten ist, und außerdem plötzliche Höhenveränderungen dem Aufbau- prinzip der Barren widersprechen, wird ein weiterer Abbau des Salzsandes und der Landtief- barre nur ganz allmählich und nicht in Form eines Durchbruchs erfolgen. Die weitere Voraussetzung für ihren Bestand ist, daß die „Stoßkraft“ des Landtiefs gegenüber derjenigen des Außentiefs so schwach bleibt wie bisher. Erst wenn unter gleichzeitiger Verstärkung der Stromkräfte die Achse des Landtiefs seine Hauptstromrichtung (Achse) so weit an die Außen- tiefachse heranschwenken würde, daß der Flutstrom nicht mehr seitlich quer, sondern mit spitzem Winkel in das Außentief einmünden würde und damit der Stromstau fortiele, wäre das Ver- schwinden der Barre und damit ein Durchbruch des Landtiefs zum Außentief möglich. Mit der- artigen Veränderungen ist vorläufig aber noch nicht zu rechnen. Der Bestand der Sände hängt wesentlich von der Größe der Sandzufuhr aus Süden ab. Die Ergiebigkeit dieser Sand- quelle für die Sandzufuhr ist demnach entscheidend für die Lebensdauer von Salzsand und Landtiefbarre.

Über die Herkunft und den Verbleib der bewegten Sandmengen geben die Tiefenänderungs- pläne Auskunft, z. B. Abbildung 21, worin die Seetiefenänderung 1898 bis 1938 dargestellt ist. Aus ihnen und den seit 1883 durchgeführten Strandprofilmessungen sind für die einzelnen Teilgebiete des Untersuchungsgebietes die Auf- und Abtragungsmassen ermittelt und im Diagramm (Abb. 22) zusammengestellt.

Die Pläne lassen erkennen:

- a) starken Auftrag an der Nordkante des Salzsandes,
- b) verbreiteten Abtrag in der Lister Westsee, der nach Osten vor der Küste in eine schmale Auftragszone übergeht,
- c) westlich vom Außentief eine Fläche mit mäßigem Auftrag (Außenbarre),
- d) auf dem Rüstehang eine breite Fläche mit kräftigem Abtrag,
- e) nordwestlich davon auf dem Außenhang des Rüstensandes einen Streifen mit Auftrag.

Die Quelle des über Salzsand, Landtiefbarre und zur Plate wandernden Sandes ist also außer in den Abbruchmassen der Küste auch in dem Abtrag der Lister Westsee zu suchen. Die seeseitige Grenze dieses Abtragsgebietes wird in den Tiefenänderungsplänen nicht erfaßt und ist ungewiß. Die Ergiebigkeit der Sandquelle innerhalb der erfaßten Fläche hat in der Vergangenheit stark geschwankt und läßt zur Zeit anscheinend nach.

Das aus dem Außentief geräumte Material setzt sich zum Teil im Westen auf der Außen- barre ab.

Der am Nordufer des Außentiefs abgetragene Sand lagert sich zum Teil im Nordwesten des Rüstensandes ab, zum größeren Teil wandert er weiter nach Norden und Nordosten über den Lammelägersand vor die Insel Röm, wie man aus den Strombildern (z. B. Abb. 12) schließen muß.

Eine Gegenüberstellung der Abtrags- und Auftragsmassen ergibt:



Durchschnittliche Massenumlagerung in 1000 m<sup>3</sup>/Jahr  
 + Anwachs — Abtrag

für die Zeitabschnitte	1898—1938	1930—1938
Lister Westsee	— 480	— 1100
Westküste nördl. Westerland	— 280	— 200
Lister Westküste	— 160	— 100
Salzsandkante	+ 230	+ 500
Außenbarre	+ 100	+ 400
Plate	+ 220	+ 250
	— 920	— 1400
	+ 550	+ 1150

Der Küstenabbruch nördlich von Westerland beträgt hiernach etwa ein Drittel bis ein Sechstel des Abtrags in der Lister Westsee. Eine Verminderung der Sandzufuhr — etwa durch ein Deckwerk — infolge Festlegung der ganzen Westküste könnte demnach schon einen merklichen Einfluß auf die Erhaltung der Landtieffarre haben.

Die Ergiebigkeit der Sandzufuhr aus der offenen See vor Sylt (Lister Westsee) könnte ferner infolge anhaltender Vertiefung langsam zurückgehen, bis sich hier eine Grenztiefe einstellen würde, bei der die Sandwanderung bedeutungslos und damit ein Abbau von Landtieffarre und Salzsand beginnen würde.

Dieser immerhin erkennbare Ausräumungsvorgang vor der Westküste Sylts verläuft jedoch äußerst langsam, überdies ist nach den vorliegenden Unterlagen zu vermuten, daß auch die Lister Westsee wieder Sandzufuhren aus südlicher oder westlicher Richtung erhält, so daß eine akute Gefahr für den Bestand der Sände vor West-Ellenbogen vorläufig nicht besteht.

Außer der Kenntnis von der Bildung und Erhaltung der großen Seegrundformen sind für die Küstenschutzmaßnahmen noch folgende Einzelheiten der Küstengestaltung von Bedeutung.

In Abschnitt III war betont, daß sich vor dem auffällig scharf vorspringenden Ostindienfahrerhuk fast immer eine gute Strandlage erhalten hat. Ferner wurde auf die Einbuchtung der Abbruchkante vor dem Westfeuer hingewiesen. Ist einerseits die festgestellte Erhöhung des Vorstrandes vor der Küste Ellenbogen-West (südlich vom Huk) auf das Abschwanken des Landtiefs von

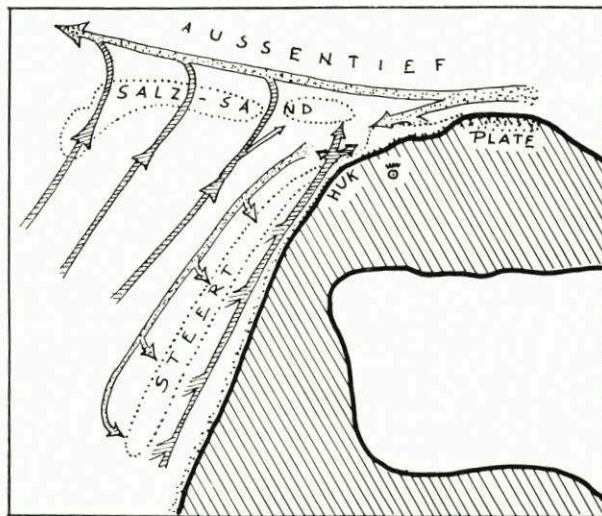


Abb. 23. Schema der Sandwanderung vor West-Ellenbogen, Stand 1939 (schraffierte Pfeile = Flutüberschuß, punktiert = Ebbeüberschuß)

der Küste zurückzuführen, so ist der Grund für die gute Strandlage unmittelbar vor dem Huk in der vor diesem Punkt besonders günstigen Sandwanderung zu erblicken (Abb. 23). Der in breiter Front zur Landtieffarre herangeführte Sand wird zum Teil in dem rund 300 m vom Strand entfernten „Ebbestrich“ (s. Abb. 14 und 18) wieder nach Süden verfrachtet und von dem Seegang zur Bildung des Riffs Ellenbogen-Steert benutzt. Zwischen Riff

und Strand läuft der Sandstrom infolge Flutstromdrift und Strandversatz von neuem nach Norden und wirft den Sand über die Riffwurzel hinweg vor dem Huk auf. Dieser Sandkreislauf hat von jeher den auffälligen Küstenvorsprung am Ostindienfahrerhuk erhalten helfen (vgl. frühere Küstenlinien), obwohl in den letzten Jahrzehnten das Landtief soweit vorgedrungen und geschwenkt ist, daß jetzt die Brandung und der Strom gerade diese Küstendistrecke in besonderem Maße angreifen. Nordwärts anschließend, vor dem Westfeuer, fehlen dagegen die zur Auffüllung erforderlichen Sandmengen, so daß hier eine Einbuchtung im Strand entstand.

### Zusammenfassung

Die veränderten Kräfte haben auf die Küste und das umliegende Seegebiet im Raum um Nord-Sylt folgende Wirkungen gehabt:

1. Die Gestaltänderungen der Küste und der Seegrundformen werden durch die Gezeitenströmung, den Seegang, die Brandung und als Folge dieser Kräfte besonders durch die Sandwanderung hervorgerufen.
2. An der gesamten jährlichen Sandverfrachtung im Seegebiet südlich des Salzsandes sind Sturmfluten und Normaltiden etwa im Verhältnis 20 : 1 beteiligt. Das Übergewicht der Sturmfluten wird auf die Wirkung des Seegangs zurückgeführt.
3. Nach dem Ergebnis der Sandfallenmessungen herrscht bei Normaltiden in Übereinstimmung mit dem Strombild eine allgemein mit der Flut nach Norden gerichtete Sandwanderung. Nur im Außentief werden überwiegende Sandmengen mit der Ebbe nach Westen zur See abgeführt. Die häufigen Sturmfluten aus westlicher Richtung vergrößern die Sandwanderung erheblich, ändern aber nicht ihre Richtung. Nur Stürme aus Norden und Nordwesten können zeitweilig ein Wandern des Sandes nach Süden hervorrufen.
4. Landtiefbarre und Salzsand sind als Barrenbildung in ihrem Bestand abhängig von dem jetzigen Verhältnis der Stromkräfte und einer ständigen Sandzufuhr aus der südlich gelegenen Lister Westsee. Sie sind selbst bei langsamer Abnahme dieser Sandzufuhr vorläufig in ihrem Bestand nicht gefährdet.
5. Ein „Durchbruch“ des Landtiefs zum Außentief ist nach dem augenblicklichen Kräftebild nicht zu befürchten, weil sich die schwächere Stromkraft des Landtiefs gegenüber der stärkeren des Außentiefs nicht erheblich auswirken kann.
6. Die trotz stärksten Strom- und Brandungsangriffs ständig gute Strandlage unmittelbar vor dem Huk einerseits und die Einbuchtung der Küste vor dem Westfeuer andererseits sind Folgen eines verwickelten eng begrenzten Sandhaushalts, dessen Gleichgewicht unter anderem von der Achsenrichtung des Landtiefs zur Küste abhängt.
7. Das Aufbaumaterial für die Plate am Nord-Ellenbogen besteht vornehmlich aus Abbruchmaterial, das durch Strandversatz von der Westküste der Insel am Huk vorbei herangeschafft wird.

### VI. Die künftige Küstenentwicklung am Ellenbogen

Bei der Frage, wie sich künftig die natürliche Entwicklung der Küste am Ellenbogen gestalten wird, soll die Wirkung der am Ellenbogen seit 1936 vorhandenen kurzen eisernen Strandbuhnen außer Acht gelassen werden, weil sie hierfür von untergeordneter Bedeutung bleiben würden.

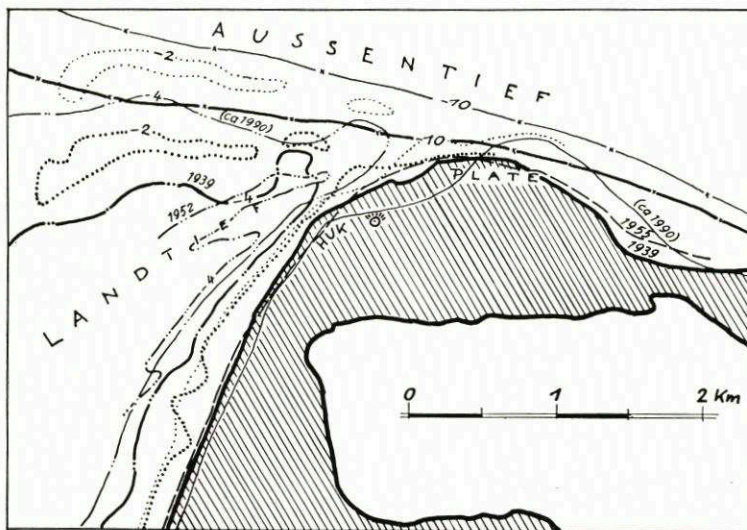
Unter Beachtung der im Kartenvergleich festgestellten früheren Entwicklung und des Kräftebildes der Gegenwart lassen sich für die künftige Küstenentwicklung um Nord-Sylt ohne Berücksichtigung etwaiger Schutzbauwerke folgende Aussagen machen (Abb. 24):

Die starken Ebbestromgeschwindigkeiten haben am Rüstenhang gegenüber dem Ellenbogen große Ebbetrichter (Großer Trichter u. a.) ausgebildet, die auf eine Fortdauer der nordwärts gerichteten Schwenkung des Außentiefs hindeuten. Die weitere Entwicklung des Landtiefs, die im einzelnen nicht ganz so stetig wie die des Außentiefs verlaufen dürfte, hängt von dem Verhältnis der Stromkräfte im Außentief und Landtief und von der weiteren



Ausräumung des Südhanges des Salzsandes ab. Die Ausräumung wird eine weitere Nord-schwenkung der Landtiefachse zur Folge haben, jedoch darf die hierdurch hervorgerufene Verstärkung der Stoßkraft des Landtiefs (Brandung, Strom) in ihrer Auswirkung nicht überschätzt werden, weil, wie heute bereits durch die Bildung des Ellenbogen-Steert u. a. angedeutet, vor der Küste Ellenbogen-West südlich des Huks gleichzeitig eine mäßige Aufhöhung des Vorstrands anhalten wird.

Die nördlich des Ellenbogens gelegene Plate wird künftig mehr und mehr in den Bereich der Hauptabbrüche kommen, und damit wird auch das Westfeuer in seinem Bestand gefährdet werden. Die Nord- und Ostverbreiterung der Plate wird andauern und zum langsamen Auffüllen der Mittelbucht (Einschnürungsstelle) führen. In dieser Entwicklung werden plötzliche



Uferlinien MThw  $\approx$  + 1 m NN. Tiefenlinien bezogen auf MSpThw = - 1,2 m NN.  
Zustand 1939: dicke Linien.  
Vermuteter Zustand 1990: dünne Linien.  
Nachtrag: Uferlinie 1955 nach Strandprofilen und Tiefenlinien 1952 nach Echolotungen des Marschenbauamts Husum

Abb. 24. Vermutete Entwicklung des Ellenbogens in den nächsten fünfzig Jahren seit 1939

und einschneidende Veränderungen nicht eintreten, weil alle Sände Strombildungen sind, die wohl durch Sturmfluten zeitweilig aufgerührt, nicht aber zerstört oder so umgestaltet werden können, daß sich grundsätzlich andere Stromverhältnisse einstellen müßten. Es besteht daher auch nicht die akute Gefahr eines Durchbruchs der Landtiefbarre.

Der Bestand des Ellenbogens als Ganzes ist in der nächsten Zukunft noch nicht gefährdet. Es ist aber zu bedenken, daß angesichts der durch das Deckwerk jetzt (1939) schon festgelegten Küstenlinie auf längere Sicht mit verschärften Bedingungen für den Schutz der Nordwestecke des Ellenbogens gerechnet werden muß.

Es bleibt ohnehin eine Frage, wann — ohne den jetzt vorgenommenen gewaltsamen Eingriff des Deckwerks — der richtige Zeitpunkt eingetreten wäre, den Nordabschnitt der Sylter Westküste auf die Dauer und auf wirtschaftlichste Weise zu sichern. Es gibt Hinweise dafür, daß die anwachsenden Weststrände der nordwärts anschließenden dänischen Inselkette (Röm, Fanö usw.) einerseits und andererseits die abbrechende Westküste Nord-Sylts einer gemeinsamen Streichlinie zustreben. Eindeutig hat jedenfalls die starke Staffelung zwischen den Westküsten von Röm und Sylt im letzten Jahrhundert abgenommen, und man darf schätzen, daß der Nordwest-Ellenbogen aus seiner vorspringenden gefährdeten Lage von Natur aus langsam unter stetiger Verminderung der jährlichen Abbruchquote zurückgehen wird.

## Erläuterungen zu den Abbildungen 9 bis 20

Abb. 9: Mittlere Windverteilung Westerland/Sylt 1927—1936 und ihr Einfluß auf den Strandversatz an der Sylter Westküste

- a) Verteilung der Windvorkommen (relative Häufigkeit  $N$ ).
- b) Verteilung der Winddruckstunden ( $D = N \cdot v^2$ ).
- c) Verteilung der Windvorkommen  $\geq 4$  Bft.
- d) Verteilung der Windvorkommen  $\geq 6$  Bft.
- e) Resultierende der Winddruckstunden ( $R_D$ ) von allen Windrichtungen, in % der Jahressumme.
- f) Resultierende der Winddruckstunden ( $R_D$ ) nur von Richtungen, die an der Listland-Westküste Seegang erzeugen, d. h. ohne SO und O, in % der Jahressumme, zerlegt nach Komponenten quer und längs zum Strand.
- g) Resultierende der Winddruckstunden ( $R_D$ ) nur von Richtungen, die an der Hörnum-Westküste Seegang erzeugen, d. h. ohne SO, O und NO, in % der Jahressumme, zerlegt nach Komponenten quer und längs zum Strand.

Die Resultierendenrichtungen der Windstärken  $\geq 4$  Bft und  $\geq 6$  Bft weichen nicht wesentlich von denen aller Windstärken ab. Schraffiert: Windstärken über dem Jahresmittel aus allen Richtungen. Punktiert: Windstärken unter dem Jahresmittel.

Abb. 10: Mittlere Tidekurven und Spiegelgefälle um Nord-Sylt.  
Mittlere Tide, Hauptwerte

Pegel	Hub cm	MTnw PN	MThw PN	Stieg-		Fall-		Zeitunterschied gegen Husum		NNTnw PN	HHTnw PN
				Dauer h min	Geschw. cm/min	Dauer h min	Geschw. cm/min	Tnw min	Thw min		
Wittdün	233	363	596	5 42	0,63	6 43	0,58	0	— 34	214	866
Westerland	168	396	564	5 27	0,52	6 58	0,40	— 35	— 85	~ 150	~ 820
Ellbg. Westfeuer	160	400	560	5 57	0,45	6 28	0,41	— 23	— 49		
List-Brücke	156	407	563	6 20	0,41	6 05	0,43	+ 31	+ 25	192	897

Abb. 11: Flut- und Ebbstrom im Lister Tief

Volle Flut 3 Std. vor Thw Ellenbogen.

Volle Flut 4 Std. nach Thw Ellenbogen.

Mittlere Profilgeschwindigkeiten, beobachtete Werte nicht auf mittl. Tide bezogen.

Der Übersicht wegen sind nicht alle ausgewerteten Messungen dargestellt.

Messungen durchgeführt 1936—1939.

Tiefen nach Arbeitskarte der Kriegsmarine April 1937.

Seekarten-Null = MSpNW = — 1,2 m NN.

Einzelwerte der Geschwindigkeit siehe Abb. 12 und 13.

Abb. 12: Oberflächenströmung Lister Tief

Vektorielle Darstellung. Beginnzeit Tnw List. Strommessungen 1936—1939. Beobachtete, nicht auf mittlere Tide bezogene Geschwindigkeiten. Der Übersicht wegen sind nicht alle ausgewerteten Meßstellen dargestellt.

Tiefen nach See-Arbeitskarte der Kriegsmarine April 1937. Seekarten-Null = MSpNW = — 1,2 m NN.



Erläuterungen zu den Abbildungen 9 bis 20

Abb. 13: Oberflächen- und Grundstrom vor West-Ellenbogen

Vektorielle Darstellung. Beginnzeit Tnw List. Strommessungen 1936—1939. Beobachtete, nicht auf mittlere Tide bezogene Geschwindigkeiten. Der Übersicht wegen sind nicht alle ausgewerteten Meßstellen dargestellt.

Tiefen nach Echograph-Lotungen der Forschungsgruppe Sylt Sommer 1938. Karten-Null = NN.

Abb. 18: Verteilung des Sandtransportüberschusses von Flut und Ebbe vor West-Ellenbogen

Unterschied ( $\Delta S$ ) der am Boden durch den Querschnitt der LÜDERSSchen Sandfalle gewanderten Sandmengen bei Flut (positiv) und Ebbe (negativ) in  $1000 \text{ cm}^3/0,9 \text{ dm}^2$ .

Gemessen 1936—1938. Unmittelbare Meßergebnisse, nicht auf mittlere Tide bezogen.

Abb. 19: Resultierende Grundströmung der Tide und Sandwanderung im Lister Tief

Resultierende ermittelt ohne alle  $v_{(\text{Grund})} < 40 \text{ cm/s}$  unter der summarischen Annahme, daß hier die Transportgrenze liegt. Ermittlung wie auf Abb. 12 und 13.

Nicht auf mittlere Tide bezogen.

Gepfeilte Kurven: Hauptbahnen der Sandwanderung.

Abb. 20: Schema des Auf- und Abbaues des Salzsandes (und der Landtiefbarre)

Abtrag: schraffiert. Auftrag: punktiert.

Pfeillängen entsprechend der Stromgeschwindigkeit.

A—C: Kein einseitig ausräumender Ebbstrom im Außentief angenommen. Dann: Flutstrom räumt Lister Westsee aus. Stromstau beim Eintritt in das Außentief. Aufschüttung einer Schwelle. Bei reichlicher Sandanfuhr bildet sich C. Sand steigt nur bis zur Grenztiefe T (etwa — 1,5 m MTnw). Bildung einer breiten Krone.

D u. E: Im Außentief überwiegender Ebbstrom, der den Schütthang des Salzsandes und den gegenüberliegenden Rüstenhang abräumt. Abnahme der Sandzufuhr mit zunehmender Vertiefung der Lister Westsee. Dadurch zunächst Breitenabnahme des Salzsandes (D), in der Folge auch Höhenabnahme des Salzsandes.

Dargestellt ist die Wirkung der Flut. Ebbe wirkt im Gegensinn, aber bedeutend schwächer. Resultierende also in Flutrichtung, außer im Außentief, wo Ebbe überwiegt.

## VII. Nachwort 1958

Die schon 1939 beabsichtigte Veröffentlichung der Denkschrift unterblieb aus kriegsbedingten Gründen. Jetzt, zwanzig Jahre später, erscheint es jedoch noch nützlich, die Beobachtungsergebnisse als umfassende Bestandsaufnahme des Mündungsgebietes des nördlichsten und größten deutschen Wattentiefs nachträglich bekanntzumachen, um damit zur allgemeinen Küstenkunde der Deutschen Bucht beizutragen. Zum anderen bedarf es zur noch ausstehenden endgültigen Sicherung der Gesamtinsel Sylt der greifbaren Bereitstellung aller inzwischen überhaupt angestellten Beobachtungen und Überlegungen.

Die bis 1939 auf Sylt angewandten hydrologischen und morphologischen Beobachtungs- und Auswertungsverfahren dürfen heute teilweise als überholt, vereinzelt vielleicht als unzureichend angesehen werden. Auf alle Fälle sind sie lückenhaft. Das gilt besonders für die Strom- und Sandmessungen, die sich meist auf einzeln aufeinanderfolgende „Schönwetter“-Messungen über je eine Tide beschränken mußten. Praktisch zuverlässige Dauer-Stromschreiber gab es noch nicht. Auf die morphologisch überaus wirksamen Vorgänge bei Sturm konnte lediglich nach gewissen Analogien gefolgert werden. Über die Wirkungen von Seegang und Brandung fehlten Erfahrungen, wie sie heute bereitstehen.

Aber aufschlußreich ist jetzt die Probe auf die in der Denkschrift gemachten Schlußfolgerungen und Voraussagen, zu der die zurückliegende, rund zwanzig Jahre lange Entwicklung die Möglichkeit gibt.

Bei Abschluß der Untersuchungen 1939 war das neue rund zweieinhalb km lange Basaltdeckwerk fertiggestellt. Es fehlte nur noch seine Fußsicherung in Form von fünf schweren Unterwasserbuhnen von rund 350 m Länge, die nach dem damaligen Entwurf den Vorstrand binden sollten. An dem schon vorher bestehenden System einwandiger kurzer Spundstahlbuhnen hatte der Verschleiß eingesetzt (vgl. Abb. 13). Folgerichtig mußte ein derartig unabgestimmtes und des Krieges wegen nicht unterhaltenes Strandschutzsystem verwildern, und so verfiel es in der Folge bis auf einige Reststücke; seine Schutzwirkung unterblieb oder schlug streckenweise durch Lee-Erosion usw. in das Gegenteil um. Vereinzelt und vorübergehend trat auch Strandanwachs ein, so z. B. nordöstlich vom Westfeuer bei Station XXXX (vgl. Abb. 13).

Dieser durch die besonderen Umstände unvollständig gebliebene örtliche Eingriff will bedacht sein, wenn nunmehr die in Abschnitt VI auf fünfzig Jahre vorausgesagte natürliche Küstenentwicklung am Ellenbogen mit der im ersten halben Zeitraum tatsächlich eingetretenen Entwicklung verglichen werden soll. In die Abbildung 24, welche die bis 1990 vorausgesagte Verlagerung einiger kennzeichnender Ufer- und Tiefenlinien zeigt, wurde nachträglich die aus Strandprofilmessungen abgeleitete Uferlinie von 1955 sowie die aus Echolotpeilungen ermittelte 4 m-Tiefenlinie des Landtiefs von 1952 eingetragen.

Danach zeigt die Uferlinie (MThw) im Ganzen eindeutig die vorausgesagten Verlagerungstendenzen, wenn auch — bis jetzt — in der Geschwindigkeit teils von der Voraussage abweichend. Überraschend dagegen ist es, daß das Ufer zwischen Westfeuer und dem Ostrand der Plate nicht zurück- sondern merklich vorgeschritten ist. Den pessimistisch vorausgesagten weiten Einbruchbogen hat offenbar der hier noch intakte Deckwerkskörper trotz fehlender Vorstrandsicherung verhindern können.

Nicht gerade verwunderlich ist der eingetretene mäßige gleichförmige Uferanwachs rund eineinhalb km vom südlichen Kartenrand aus bis zum Halsansatz des Ellenbogens. Zwar war auf dem Zukunftschema der Abbildung 24 vorsichtshalber ein schmaler Uferrückgang eingezeichnet worden; für den untermeerischen Vorstrand war aus den verwinkelten Sandwanderungsverhältnissen (vgl. Abb. 23) heraus jedoch auf eine im Ganzen schwach positive Entwicklung



dieser Küstenstrecke südlich vom Huk geschlossen worden (vgl. u. a. Abschnitt VI). Die Treffsicherheit dieser von mancher Seite angezweifelte Behauptung wird ferner durch das Abrücken der 4 m-Tiefenlinie belegt; die günstige Verlagerung der Uferlinie ist also keine isolierte oder vorübergehende Einzelercheinung.

Soweit die Betrachtungen bisher geführt wurden, stimmt Voraussage und tatsächliche Entwicklung befriedigend überein.

Darüber hinaus gibt es einen Widerspruch zur Voraussage. Das ist — wegen der auf Landnähe beschränkten Kontroll-Lotungen von 1952 mit Vorsicht aufzufassen — die auffällige Tatsache, daß sich das Landtief mit seinem oberen trichterförmigen Ende nicht weiter in den Salzsand hinein in nordöstlicher Richtung vorgearbeitet hat, sondern sich offensichtlich verflacht hat. Dies zeigen die 4 m-Tiefenlinien von 1939 und 1952. Zu ergänzen ist hier, daß sich der Umfang der sogenannten „Landtiefbarre“ zwischen Landtief und Außentief nach dem Ergebnis derselben Lotungen eher vergrößert als vermindert hat (in Abbildung 24 ist die 4 m-Linie des Außentiefs der Übersicht wegen nicht eingezeichnet). Das bedeutet, daß das bis 1939 beobachtete sehr stetige Vorschreiten und Ausdehnen des oberen Landtiefs zumindest einen nicht erwarteten Stillstand erfahren hat. Die möglichen Ursachen können z. Zt. nicht untersucht werden.

Zusammengefaßt ergeben die angestellten Vergleiche eine so weitgehende Übereinstimmung zwischen Voraussage und tatsächlicher Entwicklung, daß die vor zwanzig Jahren angestellten Untersuchungen nachträglich einen höheren Zuverlässigkeitsgrad erlangen, als den Vorbehalten nach, die wegen einiger unabwendbarer Verfahrensmängel zu stellen sind, erwartet werden konnte. Nun erhält auch der in den Schlußfolgerungen der Denkschrift enthaltene gemäßigte Optimismus über das künftige Schicksal des Ellenbogens eine festere Grundlage: künftige Abbrüche an seinen seewärtigen Seiten, auch vorübergehende Ein- und sogar Durchbrüche zum Königshafen wie derjenige von 1928, werden und können zwar eintreten, nachhaltige „Katastrophen“ jedoch wie ein von manchem befürchteter „Durchstoß“ des Landtiefs zum Lister Außentief bleiben solange ausgeschlossen, bis das Mündungssystem des Lister Tiefs mit seinen Stromrinnen und Außensänden seinen Charakter grundsätzlich ändert. Dieser Zeitpunkt liegt zur Zeit außerhalb der Vorhersagemöglichkeit. Fragen dieser Art — sie sind am Schluß der Denkschrift angedeutet — griffen auch über die praktisch und zeitlich bedingte Zielsetzung der Untersuchungen noch hinaus. Ihre Lösung würde unter anderem voraussetzen, die Quellen und die Wanderwege der Massenteilchen eindeutig zu kennen, durch die das Seegrundrelief im Mündungsgebiet des Lister Tiefs heute noch im dynamischen Gleichgewicht erhalten wird.

Der Boden- und Wirtschaftswert des Ellenbogens mag nicht erheblich sein. Der unzweifelhafte Zusammenhang der Küstenumformung am und vor dem nordwestlichen Ellenbogen mit den Abbrucherscheinungen an den dichtbesiedelten Küstenstrecken des Inselkerns um Westerland wird aber eines Tages dazu zwingen, den küstenmorphologischen Problemen der Westküste Sylts im größeren Raume nachzugehen. Der Inhalt der vorliegenden Denkschrift darf dafür als Beitrag gelten.

## VIII. Schriftenverzeichnis

1. GRIPP, K. u. SIMON, W. G.: Untersuchungen über den Aufbau und die Entstehung der Insel Sylt. I. Nord-Sylt. Westküste 2, H. 2/3, 1940.
2. GRIPP, K. u. BECKER, W.: Untersuchungen über den Aufbau und die Entstehung der Insel Sylt. II. Mittel-Sylt. Westküste 2, H. 2/3, 1940.
3. HANSEN, C. P.: Die nordfriesische Insel Sylt. Leipzig 1859.
4. LÜPKES, H. u. SIEMENS, H. P.: Planung und Stand der Maßnahmen zur Sicherung des Ellenbogens von Sylt. Westküste 2, H. 2/3, 1940.

5. MAGER, Fr.: Der Abbruch der Insel Sylt durch die Nordsee. Schr. Balt. Komm. Kiel 6, 1927.
6. MÜLLER, Fr. u. FISCHER, O.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Teil 2: Die Inseln, Band 7: Sylt. Berlin 1938.
7. TIMMERMANN, P. D.: Proeven over de invloed van golven op een strand. Leidsche Geol. Med. VI, 1935.
8. WALTHER, Fr.: Die Gezeiten und Meeresströmungen im Norderneyer Seegat. Bautechnik 12, H. 13, 1934.
9. ZAUSIG, F.: Veränderungen der Küsten, Sände, Tiefs und Watten der Gewässer um Sylt (Nordsee) nach alten Seekarten, Seehandbüchern und Landkarten seit 1585. Geol. Meere u. Binnengewässer 3, H. 4, 1939.

Ferner: Marschenbauamt Husum, Akten und Planarchiv.



# Uferveränderungen und Küstenschutz auf Sylt

Von Heinz-Otto Lamprecht

## Inhalt

I. Einführung . . . . .	39
II. Veränderung der Küste und des Unterwasserstrandes	
A. Vermessungen	
1. Vermessungen von 1870 bis 1956 . . . . .	42
Vermessungen von 1870 bis 1935 . . . . .	42
Vermessungen von 1936 bis 1939 . . . . .	42
Vermessungen von 1940 bis 1956 . . . . .	42
2. Darstellung der Meßergebnisse . . . . .	45
3. Auswertung . . . . .	47
B. Lotungen	
1. Durchführung der Lotungen	
a) Methoden, Ortung und Beschickung . . . . .	50
b) Genauigkeit der Lotungen . . . . .	51
c) Darstellung der Meßergebnisse . . . . .	54
2. Auswertung der Lotungen	
a) Querprofile . . . . .	54
b) Tiefenpläne . . . . .	56
c) Das Sandriff . . . . .	59
III. Angreifende Kräfte	
A. Wind . . . . .	60
B. Wellen und Brandung . . . . .	65
1. Allgemeines . . . . .	65
2. Wellenmessungen	
a) Beobachtungen von Wellengrößen . . . . .	65
b) Mikroseismische Messungen der Brandungsenergie . . . . .	66
C. Strömungen . . . . .	67
IV. Küstenschutzmaßnahmen	
A. Geschichtliche Entwicklung . . . . .	76
B. Beurteilung der Sylter Küstenschutzmaßnahmen	
1. Ansichten bis 1952 . . . . .	78
2. Bewertung der bisherigen Küstenschutzbauten auf Grund der Untersuchungen seit 1952	
a) Buhnen . . . . .	79
b) Deckwerke und Strandmauern . . . . .	81
c) Halmpflanzungen . . . . .	83
C. Gedanken über zukünftige Maßnahmen . . . . .	84
V. Zusammenfassung . . . . .	90
VI. Schriftenverzeichnis . . . . .	91

## I. Einführung

Vor der schleswig-holsteinischen Westküste zieht sich im Norden ein rund 30 km breites Gebiet hin, das dem ständigen Einfluß des Meeres unterliegt: das nordfriesische Insel- und Wattengebiet. Zweimal am Tage strömen bei Ebbe erhebliche Wassermassen aus dieser amphibischen Zone heraus und lassen sie zum größten Teil trockenfallen; anschließend wird bei Flut der gewaltige Raum wieder mit Wasser gefüllt. Wegen des unablässigen Wechsels der Bewegungsvorgänge und des verhältnismäßig wenig widerstandsfähigen Untergrundes unterliegt

dieser Raum einer ständigen Veränderung, so daß künstliche Eingriffe in dieses Kräftespiel einer sorgfältigen Planung bedürfen.

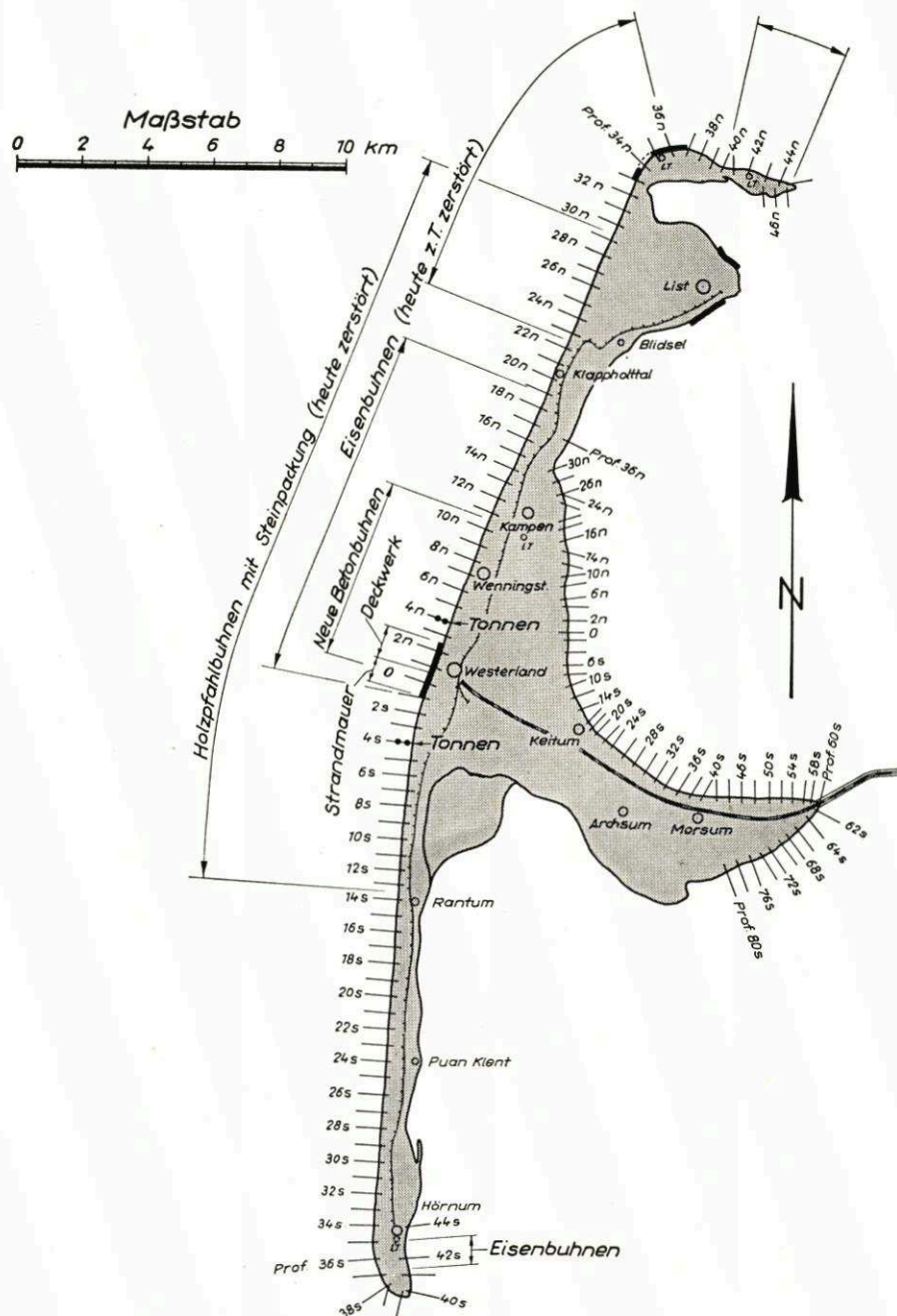


Abb 1. Übersichtsplan von Sylt mit Angabe der Bauwerke und Strandprofile



An der seeseitigen Grenze dieses Gebietes liegt im Norden die Insel Sylt; sie nimmt unter allen deutschen Sandinseln eine Sonderstellung ein. In rund 40 km Länge erstreckt sie sich als teilweise sehr schmales Gebilde von Norden nach Süden (Abb. 1), d. h. sie liegt mit der Breitseite in der Hauptangriffsrichtung von Wind und Wellen. Darüber hinaus reichen die größeren Meerestiefen bis dicht an Sylt heran, so daß auch hohe Wellen bis in die Strandnähe gelangen und hier ihre Energie abgeben.

Als Folge dieser gefährdeten Lage haben sich schon seit Jahrhunderten erhebliche Abbrüche an der Westküste eingestellt (FÜLSCHER, 1905; MAGER, 1927; MÜLLER-FISCHER, 1938; ZAUSIG, 1939; LAMPRECHT, 1955b), so daß bereits mehrere Ortschaften im Meer versunken sind. Ge-



Abb. 2  
Kulturspuren am  
Sylter Weststrand;  
bei tiefer Strandlage  
trat vor Rantum alter  
Kulturboden mit  
Pflugfurchen zutage  
Aufn.: LAMPRECHT, Febr. 1954

legentlich geben Kulturspuren (Sodenbrunnen, altes Ackerland, Häuserreste) am heutigen Sylter Badestrand ein eindrucksvolles Zeugnis, daß hier vor langer Zeit besiedeltes Land gelegen hat (Abb. 2).

Während die Inselbewohner in früheren Jahrhunderten den Küstenschutz mit eigener Kraft betreiben mußten, unterstützte sie der Staat Preußen nach Übernahme der Insel im Jahre 1865 durch die Herstellung von massiven Schutzwerken an den gefährdeten Strecken.

Zu jener Zeit wurde auch erstmalig vom Staat die Frage nach den vor Sylt wirkenden Naturkräften gestellt und entsprechende Vermessungen eingeleitet, von denen im folgenden die Rede sein wird. In den Jahren 1936 bis 1939 veranlaßte die Forschungsstelle Westküste eingehende geologische und hydrologische Untersuchungen auf der Insel und im Seegebiet von Sylt.

1952 richtete die Abteilung Wasserwirtschaft des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein eine „Vorarbeitenstelle Sylt“ beim Marschenbauamt Husum ein, um die bis dahin durchgeführten Forschungen zu erweitern und zu vertiefen und damit in Zukunft eine richtige Wahl der Baumaßnahmen für einen möglichst wirkungsvollen Küstenschutz treffen zu können.

Die systematischen hydrologischen Untersuchungen von 1952 bis 1956 auf Sylt gingen von der folgenden Fragestellung aus:

1. In welcher Weise hat sich Sylt verändert?
2. Welche Naturkräfte sind dafür maßgebend und wie wirken sie?
3. Wie ist die Wirkungsweise der bisherigen Küstenschutzmaßnahmen auf Sylt zu beurteilen und welche Empfehlungen können für die Zukunft gegeben werden?



Die wichtigsten der in diesem Sinne durchgeführten Forschungsarbeiten und ihre Ergebnisse sollen nachstehend genannt werden.

Die Folgerungen aus diesen Untersuchungen sind von Ministerialrat Rieder in diesem Heft angegeben (S. 1).

## II. Veränderung der Küste und des Unterwasserstrandes

### A. Vermessungen

#### 1. Vermessungen von 1870 bis 1956

Gleichzeitig mit dem Bau der Schutzwerke, die den Abbruch der Insel verhindern sollten, tauchte die Frage nach ihrer Wirksamkeit auf. Seit etwa 1870 wurden Vermessungen der gefährdeten Strandabschnitte vorgenommen; diese Messungen wurden in mehrjährigen Abständen wiederholt und ließen durch vergleichende Betrachtung die Veränderungen des Weststrandes erkennen. Dabei bildete etwa die — 1,00 m NN-Linie die seeseitige Begrenzung dieses Geländes (heute gültiges MTnw für Westerland: — 1,07 m NN).

#### Vermessungen von 1870 bis 1935

Um 1870 wurde erstmalig eine katastermäßige Aufnahme der gesamten Insel vom Katasteramt Niebüll durchgeführt; die Ergebnisse sind in sogenannten „Urkarten“ im Maßstab 1:5000 eingetragen. An den Inselufern wurden zwei Linien angegeben: die MThw-Linie und die Linie des Dünenfußes<sup>1)</sup>.

Die Vermessungen stützten sich auf Standlinien, die am Strand verliefen und rückwärts an Festpunkte in den Dünen angeschlossen waren; von den Standlinien aus wurden Querprofile aufgenommen.

Da die Standlinie an einige damals markante Punkte anschloß, die heute nicht mehr vorhanden sind, ist die Bearbeitung der älteren Messungen nur durch eine nachträgliche Berechnung der Koordinaten möglich gewesen.

Die Bezeichnung der Querprofile erfolgte in Anlehnung an die Bezeichnung der Buhnen. Entsprechend dem Abstand der „Hauptwerke“ (im allgemeinen vier Pfahlreihen mit Faschinen und Steinschüttung; Gesamtbreite 8 m; vgl. LAMPRECHT [1957] und Abb. 3) lagen die ersten Profile in rund 500 m Abstand voneinander; je nach Bedarf wurden Zwischenprofile eingefügt.

#### Vermessungen von 1936 bis 1939

In der Zeit von 1936 bis 1939 war in Westerland die Forschungsgruppe Sylt der damaligen Forschungsstelle Westküste tätig, der in erster Linie die Untersuchung des Gebietes um den „Ellenbogen“ (Nord-Sylt) übertragen war. Im Rahmen dieser Arbeiten wurde unter Verwendung der alten Standlinien eine neue hergestellt und an allen markanten Punkten (z. B. Knickpunkten) mit „Eisenschraubpfählen“ gesichert, wie sie von HABERSTROH (1938) beschrieben wurden (Abb. 4).

Jedes Hauptprofil erhielt eine rückwärtige Sicherung durch drei Betonpfähle in den Dünen; der erste (seeseitige) Pfahl wurde mit der (römischen) Ziffer des betreffenden Profils versehen. Eine genaue Koordinierung der Festpunkte erfolgte nicht.

Für Höhenmessungen wurde das Nivellier Niv. B (ZEISS), für Winkelmessungen der Repetitions-Theodolit III (ZEISS) verwendet.

#### Vermessungen von 1940 bis 1956

Während des letzten Krieges und in den ersten Nachkriegsjahren ruhte die Vermessungsarbeit an der Westküste von Sylt. Erst 1949 nahm die Forschungsstelle Westküste die Vermessungen am Ellenbogen-Deckwerk und 1951 an der Sylter Westküste von Westerland bis Hörnum wieder auf. Von 1952 ab führte die Vorarbeitenstelle Sylt des Marschenbauamts Husum Vermessungen am gesamten Weststrand und um den Ellenbogen und die Südspitze der Insel herum sowie an der Ostküste von Kampen bis zum Nössedeich südlich Morsum durch. Zu Beginn der Arbeiten erwies es sich als notwendig, folgende Vorbereitungen zu treffen:

<sup>1)</sup> Eine Übersicht über sämtliche Strandvermessungen auf Sylt seit 1870 ist in LAMPRECHT (1954a) enthalten.



1. eine Neufestlegung der „Standlinie Westküste“, die von der 1939 benutzten ausgeht und um den Ellenbogen und die Südspitze herumreicht, und der „Standlinie Ostküste“ von Kampen um die Ostspitze herum bis zum Nössedeich;
2. eine Sicherung der Standlinie in markanten Punkten durch Eisenschraubpfähle und Bestimmung der Koordinaten (GAUSS-KRÜGER) durch Rückwärtseinschnitt;
3. die Neufestlegung einer einheitlichen Bezeichnung der Profile (Abb. 1);
4. eine gut sichtbare Markierung der Profile. Die Festlegung der Profile in den Dünen erfolgte in ähnlicher Weise wie 1936. Jedes Profil ist durch drei Betonpfähle (Querschnitt  $12 \times 12$  cm) nach rückwärts gesichert. Der erste (seeseitige) 3 m lange Pfahl trägt die (arabische) Profilvernummer, die beiden anderen Pfähle haben eine Länge von je 2 m; alle Pfähle stehen etwa 1 m frei.

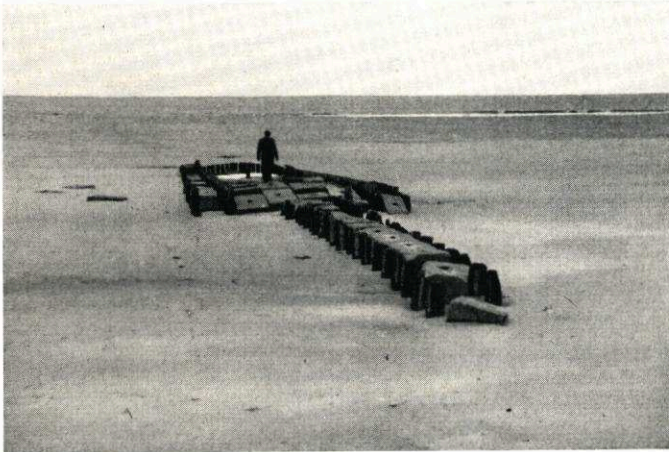


Abb. 3  
Rest einer alten Holzpfahl-  
Bühne mit Betonquadern  
vor Rantum;  
Baujahr 1898  
Aufn.: LAMPRECHT, Jan. 1955



Abb. 4  
Ein Eisenpfahl wird als  
Vermessungsfestpunkt in den  
Strand eingedreht  
(im Vordergrund ist der  
„Schraubteller“ eines weiteren  
Pfahles zu sehen)  
Aufn.: LAMPRECHT, 1953

Diese Art der Sicherung der Standlinie und der Profile gestattet es, ohne großen Aufwand und in kurzer Zeit jeden Punkt am Strand eindeutig zu bezeichnen. Dies ist Voraussetzung für alle Vermessungen und besonders für alle Lotungen, da wegen der starken Wetterabhängigkeit die Meßzeiten nur dann richtig ausgenutzt werden können, wenn sich die Vorarbeiten möglichst schnell und einfach erledigen lassen. Darüber hinaus kommt die Sicherung allen Bauarbeiten, Dünenpflanzungen und Beobachtungen zugute.

Die Standlinie wurde im Jahre 1953 durch ein Fein-Nivellement über den Hindenburgdamm hinweg höhenmäßig an das Festpunktnetz des Festlands angeschlossen (DOLEZAL, 1954).



Als Quelle für die bei Rückwärtseinschnitten verwendeten Zielpunktkoordinaten diente das Verzeichnis des Reichsamts für Landesaufnahme, Trigonometrische Abteilung, Berlin, das nach Angaben der Katasterämter Husum und Niebüll ergänzt wurde.

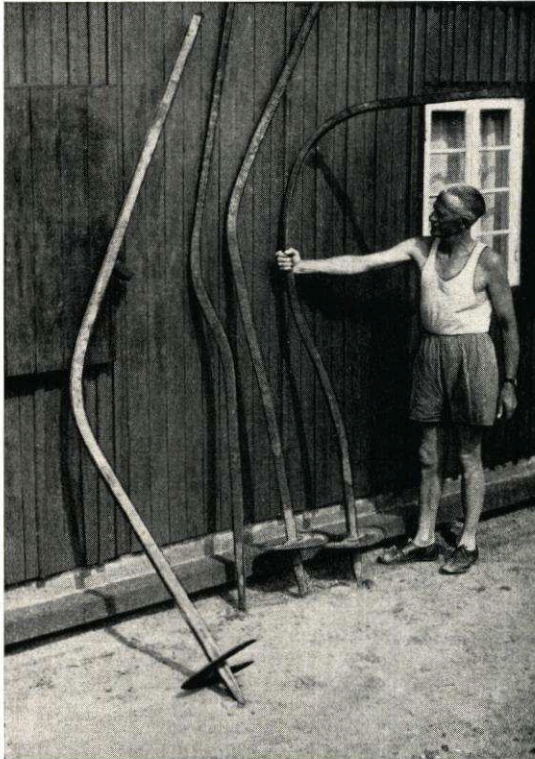
Da die Verhältnisse am Sylter Strand für Vermessungsarbeiten meistens ungünstig sind (grelle Sonne, Wind, lockerer Untergrund), erwies sich bei den Profilmessungen der Einsatz moderner Instrumente als notwendig, die eine möglichst einfache und schnelle Aufstellung und Ablesung

gestatten. Es wurden der Reduktionsdistanzmesser RDS, der Universal-Theodolit T 2 von WILD sowie der Repetitions-Theodolit Th III von ZEISS verwendet.

Sämtliche Höhenmessungen wurden mit Nivellierinstrumenten von ZEISS ausgeführt. Es gelangten das Nivellier B, das Nivellier Ni 2 mit automatisch horizontalisierter Ziellinie und für das Anschluß-Feinnivellement das Nivellier A mit Planplattenmikrometer und Invarlatten zum Einsatz.

Zur Bestimmung der Koordinaten durch Rückwärtseinschnitt wurden stets Doppelsätze mit Überbestimmungen gemessen, so daß Unsicherheiten bei der Berechnung der Koordinaten (gefährlicher Kreis) nach der Methode CASSINI ausgeschaltet werden konnten.

Zu Beginn einer Strandvermessung ist jeweils die Einwägung der Eisen-schraubpfähle erforderlich, da diese häufig verbogen sind (Abb. 5). Der Abstand von Profil zu Profil wurde mit einem Stahlbandmaß oder einem 50 m langen Drahtseil oder isoliertem Telefonkabel gemessen. Im Bereich des Roten Kliffs (Steilküste) erwies es sich als notwendig, je eine Standlinie am Kliffuß und oben



Aufn.: LAMPRECHT, 1953

Abb. 5. Eisenpfähle, die rund 15 Jahre lang im Strande eingedreht waren und dort verbogen worden sind

auf dem Kliff anzulegen; dadurch war es möglich, den Steilhang oben und unten einzumessen.

Bei einem Vergleich zweier Strandprofile aus verschiedenen Jahrgängen können leicht Fehlschlüsse entstehen, wenn nicht die täglichen Strandveränderungen berücksichtigt werden. Sie sind besonders im Bereich des nassen Strandes (Gebiet zwischen der MThw- und der MTnw-Linie) erheblich, wie man gelegentlich auch ohne Messungen optisch deutlich wahrnehmen kann.

Da die Größenordnung dieser kurzperiodischen Höhenänderungen auch für Baumaßnahmen im Strandgebiet bekannt sein muß, wurden im Jahre 1954 zehn Monate hindurch täglich bei Tnw an drei ausgewählten Abschnitten Profilvermessungen vorgenommen. Es zeigte sich, daß die mittleren täglichen Höhenänderungen am nassen Strand folgende Größe hatten:

Profil 5 n:	9,4 cm je Tag
Profil 0:	8,3 cm je Tag
Profil 2 s:	13,4 cm je Tag.



Im Profil 5 n senkte sich der nasse Strand in einem Falle innerhalb eines Tages im Mittel um 1,60 m, im Profil 2 s schwankte er innerhalb von vier Monaten um über 4 m. Die größte kurzperiodische Höhenschwankung wurde im Profil 0 (vor der Westerländer Ufermauer) gemessen und betrug innerhalb von zwei Tagen 2,60 m. Eine ausführliche Beschreibung der täglichen Strandveränderungen ist in LAMPRECHT (1955 b) gegeben.

Die zulässigen Fehlergrenzen für Vermessungsarbeiten der genannten Art sind von DOLEZAL (1948) festgelegt und in Tabelle 1 und 2 wiedergegeben. Lag die Ungenauigkeit bei Höhenmessungen (Nivellement) oberhalb der zulässigen Fehlergrenzen (Tabelle 1), so fand eine Wiederholungsmessung statt. Die größten Schwierigkeiten traten bei der Längenmessung auf. Die Verwendung eines langen Stahlbandmaßes erwies sich als unzumutbar, da die Meter-Skala durch Sandschliff sehr schnell unleserlich wurde und die Bänder häufig brachen. Deshalb wurden für die Messung der Profilabstände zusätzlich Stahldrähte und isolierte Telefonkabel verwendet, deren Elastizität größer als die eines Meßbandes ist; daher mußte täglich die Länge kontrolliert werden. Darüber hinaus wurden alle Längenmessungen von stets den gleichen Meßgehilfen vorgenommen. Unter diesen Umständen konnten die Meßfehler innerhalb der zulässigen Grenzen gehalten werden (Tabelle 2).

Tabelle 1  
Fehlergrenzen für Höhenmessungen

S km	Zeiss Niv. A	Zeiss Niv. II
	$m_s = 3 \cdot \sqrt{S^*}$ mm	$m_s = 5 \cdot \sqrt{S^*}$ mm
0,5	1,0	2,0
1,0	3,0	5,0
2,0	4,0	7,0
3,0	5,0	9,0
4,0	6,0	10,0
5,0	7,0	11,0
6,0	7,0	12,0
7,0	8,0	13,0
8,0	9,0	14,0
9,0	9,0	15,0
10,0	10,0	16,0

\*)  $m_s$  = mittl. Fehler je S km Doppelnivellement

Tabelle 2  
Fehlergrenzen für Längenmessungen

a) Standlinie: $f = 0,02 \sqrt{S^*}$		b) Querprofile: $f = 0,03 \sqrt{S^*}$	
Entfernung S m	Fehlergrenze f m	Entfernung S m	Fehlergrenze f m
100	$\pm 0,20$	100	$\pm 0,30$
1 000	$\pm 0,64$	500	$\pm 0,67$
2 000	$\pm 0,89$	1 000	$\pm 0,95$
3 000	$\pm 1,10$	2 000	$\pm 1,34$
4 000	$\pm 1,26$	3 000	$\pm 1,64$
5 000	$\pm 1,41$		
6 000	$\pm 1,55$		

\*) f = Fehlergrenze  
S = Entfernung

## 2. Darstellung der Meßergebnisse

Die meisten der früher beim Wasserbauamt Husum und seit 1936 beim Marschenbauamt Husum durchgeführten Messungen sind als Querprofile dargestellt. Diese Methode gestattet einen anschaulichen Vergleich verschiedener Messungen; sie wurde deshalb beibehalten. Abbildung 6 enthält die Küstenentwicklung seit 1883 in einigen ausgewählten Querprofilen.

Um die Küstenveränderungen darstellen und bewerten zu können, mußte zunächst die Küstenlinie, d. h. die Linie, an welcher der Fuß der Steilküstenböschung oder der Düne liegt (Abb. 7 und 8), eindeutig festgelegt werden. Dabei ergab sich für die Küstenlinie auf Sylt ein statistischer

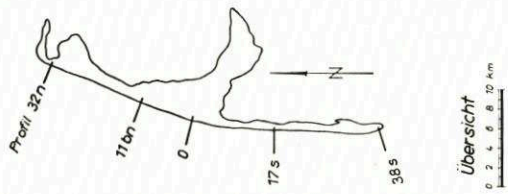
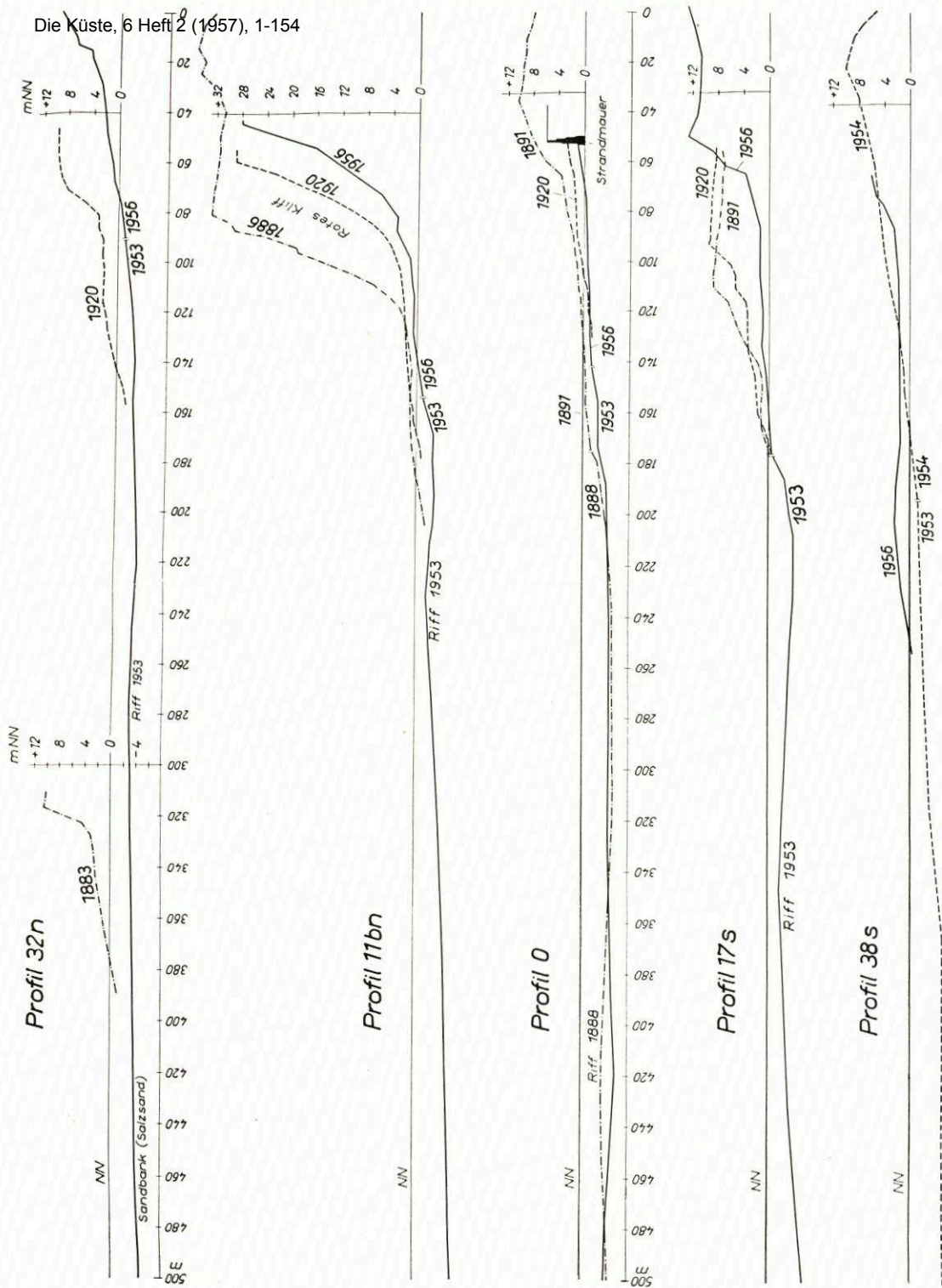


Abb. 6  
Ausgewählte  
Strandprofile der  
Sylter Westküste  
seit 1883



Mittelwert aus langjährigen Meßreihen, der auf + 3,75 m NN liegt und etwa der HHThw-Linie entspricht (LAMPRECHT, 1954 a u. 1955 b). An der Ostseite der Insel kam die Uferlinie (MThw-Linie) zur Darstellung (LAMPRECHT, 1956 b).

In welchem Maße sich die Lage der Umrisslinien geändert hat, veranschaulicht Abbildung 9 schematisch.

### 3. Auswertung

Der Wert und der Grad der Verwendbarkeit der älteren Karten sind im Schrifttum über Sylt ausführlich behandelt worden (MAGER, 1927; MÜLLER-FISCHER, 1938; PETERSEN, J., 1938; ZAUSIG, 1939). Es gilt heute als erwiesen, daß die auf der ältesten bekannten Karte von Sylt



Abb. 7  
Steiler Dünenhang nach einer  
Sturmflut; zum Sandfang am  
Dünenfuß ist erneut Strandhafer  
gepflanzt  
Aufn.: LAMPRECHT, 1955



Abb. 8  
Bildung einer „Vordüne“ durch  
Halmpflanzung.  
Der Dünenfuß ist nicht eindeutig  
zu erkennen  
Aufn.: HUNDT, 1938

(„Nordertheil vom Alt Nordt Frießlande biß an das Jahr 1240“ von Johannes MEYER) dargestellten Inselumrisse sehr unsicher sind und selbst für einen groben Vergleich mit der heutigen Inselgestalt nicht verwendet werden dürfen, so daß der von C. P. HANSEN um 1872 unternommene Versuch dieser Art (Abb. 10) nur als Hinweis darauf aufgefaßt werden kann, daß die Insel Sylt starken Veränderungen unterliegt und die Westküste erheblich zurückgewichen ist. Das gleiche gilt für die 1650 von Johannes MEYER und 1888 von Franz GEERZ unternommenen Versuche.



Abb. 9. Schematische Darstellung der Veränderung der Sylter Küstenlinie von 1870 bis 1955 (vgl. LAMPRECHT, 1955 b und 1957)

Als älteste zuverlässige Darstellung ist die 1793 von der Königlich Dänischen Gesellschaft der Wissenschaften, Kopenhagen, herausgegebene Karte zu betrachten.

Die vorliegende Untersuchung soll sich jedoch nur auf nachprüfbare, exakte Zahlenunterlagen stützen; daher ist auch von einer Verwendung der Karte von 1793 abgesehen worden.

Nach Abbildung 9 ist die Westküste (etwa Profil 34 n bis 37 s) mit Ausnahme der Profile 21 n bis 23 n und 5 s zum Teil erheblich zurückgewichen. Bei Profil 21 n bis 23 n und 5 s lagen bei der Aufnahme von 1870 starke Einbuchtungen der Küstenlinie vor, die sich später wegen der an der gesamten Sylter Westküste vorhandenen Ausgleichstendenz (der Küstenverlauf ist normalerweise fast geradlinig) allmählich auffüllten. Die Küstenlinie ist hier zwar in Richtung See gewandert, es handelt sich aber nicht um einen echten Anwachs.

Der Abbruch ist im mittleren Abschnitt der Westküste am kleinsten und nimmt nach den Enden der Insel hin stark zu. Für die Nordhälfte ergibt sich ein durchschnittlicher Jahresabbruch von 1,12 m, für die Südhälfte von 0,73 m. Nördlich und südlich an die Abbruchstrecken schließen sich Zonen bedeutenden Anwachs an. Während die stärksten Abbrüche der vergangenen 85 Jahre in Profil 32 n (West-Ellenbogen) mit 350 m (d. h. über 4 m je Jahr) auftraten (Abb. 6), hat sich die Insel nach Norden um



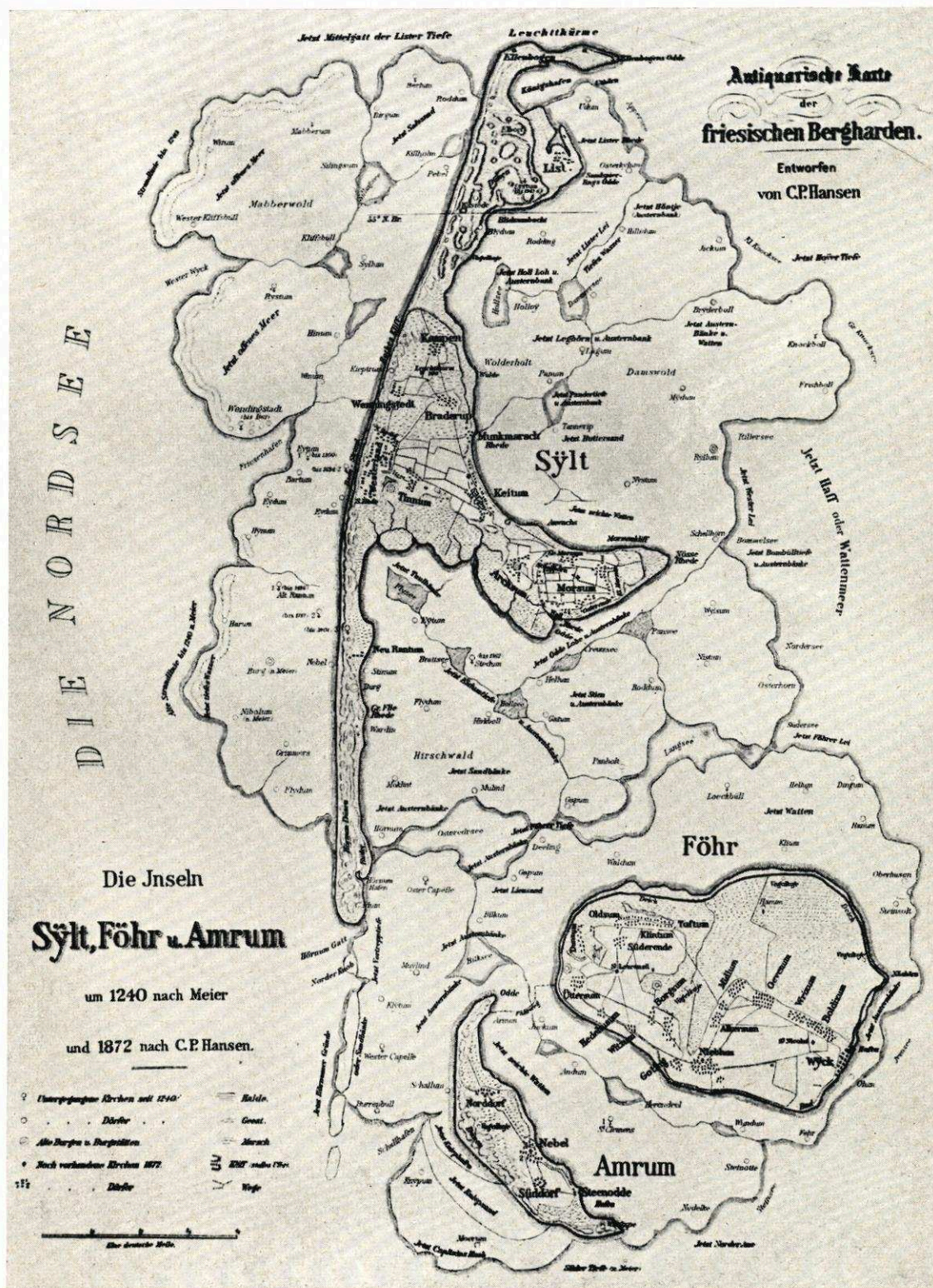


Abb. 10. Kartenvergleich von C. P. HANSEN, 1872



250 m und nach Süden um 600 m verlängert. Diese Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß sich ein Teil des nach Norden und Süden transportierten Abbruchmaterials der Westküste an den Inselenden wieder ablagert (Hakenbildung); der andere Teil dürfte jedoch weiter wandern und damit für die Insel verlorengehen.

Im Vergleich zu diesen Werten fallen die Abbrüche an der Ostküste kaum ins Gewicht; eine Bildung des arithmetischen Mittelwertes für die gesamte Meßstrecke führte zu der Größenordnung von 2 cm/Jahr. Es sei allerdings bemerkt, daß an einigen Stellen, wie z. B. im Bereich des Ortes Keitum, stärkere Abbrüche auftraten.

Der Strand reicht (im Querschnitt) vom natürlichen Dünenfuß, der Küstenlinie, bis zur Niedrigwasserlinie (MTnw) und läßt sich in den „trockenen“ und den „nassen“ Strand unterteilen (vgl. auch LÜDERS, 1953). Der trockene Strand wird durch den Dünenfuß und die



Abb. 11  
„Rotes Kliff“; vor dem  
„Hotel zum Kronprinzen“  
bei Wenningstedt brachen seit  
1905 über 50 m der Steilküste  
ab, so daß das Gebäude  
abgebrochen werden mußte  
Aufn.: LAMPRECHT, Jan. 1955

MThw-Linie (Uferlinie) begrenzt. Seine Breite schwankt auf Sylt zwischen 120 und 17 m; der Mittelwert beträgt etwa 50 m. Der nasse Strand liegt zwischen der Uferlinie und der MTnw-Linie und hat eine mittlere Breite von 26 m.

Eine Sonderstellung am Weststrand nimmt die Steilküste des „Roten Kliffs“ ein (Abb. 11), an der das Tertiär (Kaolinsand), das Diluvium (Geschiebelehm) und das Alluvium (Dünen-sand) offen zutage treten. Die Geschiebelehmschicht steigt bis zu + 26 m NN an, die aufgesetzten Dünen bis zu + 52 m NN. Der Strand am Kliffuß weist keine bemerkenswerten Unterschiede zum übrigen Strand auf.

Das Gefälle des Weststrandes von Sylt betrug in den letzten siebzig Jahren am trockenen Strand im Mittel 1:17, am nassen Strand 1:15. Der Strand ist außer in der Nähe des Dünenfußes vegetationslos.

## B. Lotungen

### 1. Durchführung der Lotungen

#### a) Methoden, Ortung und Beschickung

Die Veränderungen einer Flachküste sind in entscheidendem Maße vom Kräftespiel in der ufernahen Unterwasserzone abhängig. Die Gestaltung dieser Zone – des sogenannten Unterwasser- oder Vorstrandes (er möge vor Sylt das Gebiet von der MTnw-Linie bis etwa zur – 10 m NN-Linie umfassen) – erfolgt durch Wellen und Strömungen.



Zur Beurteilung der Kraftwirkungen und Entwicklungstendenzen sowie insbesondere als Vorarbeit für Küstenschutzbauten in diesem Gebiet sind Wiederholungslotungen wichtige Voraussetzungen. Diese Erkenntnis ist nicht neu; die ältesten vor Sylt durchgeführten Lotungen des Vorstrandes gehen auf das Jahr 1870 zurück. Seit dieser Zeit erfolgten in mehrjährigen Abständen abschnittsweise Wiederholungslotungen.

Tiefenmessungen wurden ursprünglich mit einer Lotleine oder im flachen Wasser mit einem Lotstock durchgeführt. Die Schwierigkeit dieser Methode liegt darin, daß ein Ruhewasserspiegel geschätzt werden muß und zum andern eine Messung nur bei lotrechtem Faden oder Stock richtige Werte ergibt.

In neuerer Zeit werden für Tiefenmessungen allgemein das Echolot oder der Echograph verwendet.

Bei Lotungen muß in kurzen Zeitabständen der jeweilige Schiffsstandpunkt bestimmt werden. Während dieser bei großräumigen Messungen im allgemeinen durch Rückwärtseinschnitt nach bekannten Landzielen ermittelt wird, erfolgt die Lotung bei genaueren Vermessungen in Küstennähe zweckmäßigerweise in am Ufer abgesteckten Profilen, wobei der Schiffsstandpunkt durch Messung nur eines Winkels von Bord oder vom Land aus bestimmt wird.

Bei kurzen Profilen kann der Uferabstand mit einer Leine direkt gemessen werden. Dieses Verfahren findet häufig bei Kanal- und Flußmessungen Anwendung, hat jedoch bei Küstenvermessungen wegen der hier sehr langen Profile geringe Bedeutung.

Von einer Verwendung optischer Entfernungsmesser mußte vor Sylt wegen des bisher zu kleinen Meßbereichs der Geräte abgesehen werden. Eine Neuerung auf dem Gebiete der Ortungsmethoden scheint sich mit einem von den Atlas-Werken entwickelten Gerät abzuzeichnen, das auf funkttechnischem Wege eine längengetreue Echolot-Registrierung ermöglicht.

Wegen des im Tidegebiet ständig wechselnden Wasserstandes ist eine Beschickung der gemessenen Tiefen auf eine festliegende Bezugsebene notwendig. Die Beschickung erfolgt im allgemeinen mit Hilfe von Schreibpegeln im Meßbereich. Da Lotungen nur bei sehr ruhigem Wetter möglich sind, kann der jeweilige Wasserstand notfalls auch an Lattenpegeln im Meßgebiet abgelesen werden.

Sämtliche Messungen werden auf Normalnull (NN) bezogen; das für Pegelwerte festgesetzte Pegelnull (PN) liegt auf  $-5,00$  m NN.

## b) Genauigkeit der Lotungen

Die Genauigkeit von Lotungen im Küstengebiet ist von der Genauigkeit der Tiefenmessung selbst, der Ortung und der Beschickung abhängig. Der Einfluß der einzelnen Faktoren ist bei verschiedenen Meßmethoden unterschiedlich. Entsprechend dem Zweck einer Lotung sind auch die Genauigkeitsforderungen verschieden. Eine Seekartenvermessung benötigt naturgemäß keinen so hohen Genauigkeitsgrad wie eine Vorstrandvermessung, die z. B. Aufschluß über kurzperiodische Sandverlagerungen geben soll.

### Tiefenmessung

Alle Messungen vor 1936 wurden auf Sylt mit einem Lotstock oder einem Handlot durchgeführt. Systematische Untersuchungen über die Genauigkeit sind nicht bekannt. Nach Erfahrung und Schätzung beträgt die Fehlergrenze etwa

Lotstock (bis 5 m Wassertiefe)  $\pm 10$  cm

Handlot (bis 10 m Wassertiefe)  $\pm 20$  cm

bei festem Seegrund und leichtem Seegang.

Nach 1936 erfolgten die Tiefenmessungen mit einem Echolot bzw. Echographen. In flachen Gebieten (Ufernähe, Sandriff bei Tnw usw.) mußte wegen der Strandungsgefahr jedoch nach wie vor von einem Boot aus mit einem Lotstock gemessen werden.

Die Genauigkeit von Echolotungen kann allgemein nach HUNDT (1951) und im besonderen für alle Messungen vor Sylt seit 1936 mit  $\pm 10$  cm angegeben werden. (Die Instrumenten-Fehler des Echolots durch Temperatur- und Dichteschwankungen sind vor Sylt so klein, daß sie vernachlässigt werden können.)



### Ortung

Die genaueste Einmessung des Schiffsstandpunktes ist eine Kreuzpeilung mit zwei Theodoliten von Land aus. Bei guten Sicht- und Windverhältnissen ergibt sich bei zwei geübten Ablesern eine Fehlergrenze von schätzungsweise  $\pm 10''$ , d. h. ein Abstandsfehler von weniger als  $\pm 50$  cm, wenn das Schiff bis zu 2000 m vom Ufer entfernt ist und der Abstand beider Theodolite 750 m beträgt.

Da der Aufwand für eine Kreuzpeilung bei den Sylter Messungen jedoch zu groß ist, erfolgte die Ortung von Bord aus mit einem Sextanten. Die Ablesegenauigkeit beträgt dabei 0,5' (Schätzung bis 0,1').

Zur Bestimmung der Genauigkeit einer Ortung mit dem Sextanten wurde eine Kontrollmessung bei ungünstigen Bedingungen (starke Strömung quer zur Kursrichtung des Schiffes, Messung gegen die grelle Sonne) an der Sylter Ostküste südlich von Hörnum durchgeführt. Abbildung 12 zeigt die Aufstellung bei der Messung.

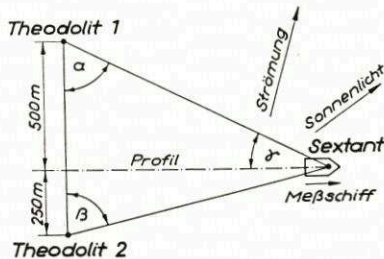


Abb. 12. Schema der Instrumentenaufstellung zur Kontrolle einer Sextantablesung

Durch Messung der Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  ließ sich der tatsächliche Uferabstand  $S$  ermitteln, der dann dem Abstand  $S_1$  gegenübergestellt wurde, der sich unter Verwendung des Sextant-Winkels  $\gamma$  errechnete.

Eine Zusammenstellung der Meßwerte ist in Tabelle 3 vorgenommen. In der letzten Spalte ist der Abstandsfehler in Prozent des Uferabstands angegeben. Dieser Fehler enthält sowohl die Ungenauigkeiten der Sextantmessung als auch die Ungenauigkeiten durch Abtritt des Meßschiffes aus dem Profil. Da bei der Messung

ungünstige Verhältnisse vorlagen (vor der Sylter Westküste ist ein nennenswerter Strom quer zum Profil nicht zu erwarten), erscheint es gerechtfertigt, die Lagegenauigkeit an der Westküste mit  $\pm 1\%$  des Uferabstands anzugeben.

Die Genauigkeit der Ortungen vor 1936 läßt sich nicht mehr bestimmen, da in den Profilplänen und Akten keine Angaben über benutzte Geräte usw. zu finden sind. Die Fehlergrenze wurde mit  $\pm 2\%$  des Uferabstands angenommen.

### Beschickung

Die Wasserstandsbeschickung von Lotungen ist in der Deutschen Bucht nach HUNDT (1951) im allgemeinen mit Fehlern bis zu  $\pm 30$  cm behaftet, wenn unter Verwendung von Flutstundenlinien an Basispegel angeschlossen wird. Die Lotungen seit 1936 vor Sylt weisen dagegen einen höheren Genauigkeitsgrad auf, da an Hilfspegel angeschlossen werden konnte. Weil zudem nur bei Schönwetter gelotet werden kann, wird die Fehlergrenze mit  $\pm 15$  cm veranschlagt.

Die Fehlergrenze der Messungen vor 1936 dürfte dagegen wesentlich höher liegen, da nur die Pegel List und zum Teil Hörnum als Anschlußpegel in Frage kamen und nicht mit Flutstundenlinien gerechnet wurde. Dieser Fehler wird mit  $\pm 50$  cm angenommen.

Eine Zusammenstellung der einzelnen Fehlergrenzen ist in Tabelle 4 vorgenommen.

Die Zeichengenauigkeit beim Kartieren beträgt etwa  $\pm 0,25$  mm; dem entspricht für den Maßstab 1:10 000 eine Entfernung von 5 m in der Natur. Diese Genauigkeit wird jedoch nur in den Meßprofilen (gegenseitiger Abstand im allgemeinen 500 m) erreicht. Der Tiefenlinienverlauf zwischen den Profilen wird interpoliert. Über die Größenordnung des hierbei auftretenden Fehlers wurden auf Sylt bisher noch keine Untersuchungen angestellt. Sie kann



bis zu einem Uferabstand von 2 km mit etwa  $\pm 20$  m in der Natur angenommen werden; bei größerem Uferabstand der  $-10$  m NN-Linie (seewärtige Grenze des Meßbereichs vor Sylt) wird der Fehler größer.

Tabelle 3  
Genauigkeit von Sextantmessungen

Uhrzeit	Tatsächlicher Uferabstand S (Kreuzpeilung)	Gemessener Uferabstand S <sub>1</sub> (Sextantmessung)	Differenz S <sub>1</sub> — S	Fehler in ‰
25. 9. 1953	m	m	m	
11.52	246	245	— 1	0,4
11.53	395	398	+ 3	0,8
11.54	550	552	+ 2	0,4
11.55	704	708	+ 4	0,6
11.56	863	864	+ 1	0,1
11.57	1 041	1 051	+ 10	1,0
11.58	1 187	1 195	+ 8	0,7
11.59	1 362	1 365	+ 3	0,2
12.00	1 530	1 535	+ 5	0,3
12.01	1 728	1 722	— 6	0,3
12.02	1 951	1 940	— 11	0,6
12.03	2 152	2 148	— 4	0,2
12.05	2 342	2 334	— 8	0,3
12.06	2 298	2 282	— 16	0,7
12.07	2 232	2 222	— 10	0,4
12.08	2 162	2 151	— 11	0,5
12.09	2 081	2 087	+ 6	0,3
12.10	2 002	2 011	+ 9	0,5
12.11	1 927	1 930	+ 3	0,2
12.12	1 851	1 860	+ 9	0,5
12.13	1 767	1 783	+ 16	0,9
12.14	1 710	1 718	+ 8	0,5
12.15	1 655	1 667	+ 12	0,7
12.16	1 604	1 616	+ 12	0,7
12.17	1 533	1 551	+ 18	1,2
12.20	1 342	1 350	+ 8	0,6
12.21	1 272	1 285	+ 13	1,0
12.22	1 222	1 218	— 4	0,3
12.23	1 132	1 147	+ 15	1,3
12.25	975	983	+ 8	0,8
12.26	892	898	+ 6	0,7
12.27	803	808	+ 5	0,6
12.28	700	711	+ 11	1,6
12.29	589	602	+ 13	2,6
12.31	354	360	+ 6	1,7
12.32	227	234	+ 7	3,1

Tabelle 4  
Fehlergrenzen bei Lotungen vor Sylt

	Fehlergrenzen	
	vor 1936	nach 1936
Tiefenmessung	$\pm 20$ cm	$\pm 10$ cm
Ortung	$\pm 2$ ‰ des Uferabstands	$\pm 1$ ‰ des Uferabstands
Beschickung	$\pm 50$ cm	$\pm 15$ cm

Die vorstehende Überlegung zeigt, daß eine Steigerung der Ortungsgenauigkeit nicht sinnvoll ist, da die Fehler bei der Ortung in der gleichen Größenordnung liegen wie die durch das Kartiervverfahren bedingten; eine Vereinfachung des Ortungsverfahrens wäre dagegen erwünscht. Andererseits dürfen bei einem Vergleich von Tiefenplänen nur solche Veränderungen bewertet werden, die außerhalb der Fehlergrenzen liegen (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5  
Fehlergrenzen bei Tiefenplänen 1:10 000

Höhengenaugigkeit			vor 1936 ± 70 cm	nach 1936 ± 25 cm
Lagegenauigkeit	bei einem	1 km	± 40 m	± 30 m
	Uferabstand	2 km	± 60 m	± 40 m
	von:	4 km	± 100 m	± 60 m

### c) Darstellung der Meßergebnisse

Die in Meßprotokollen festgehaltenen Lotungsergebnisse werden seit 1936 auf NN bezogen und in Querprofilen dargestellt. Die älteren Ergebnisse waren im allgemeinen auf „ordinäres Hochwasser“ bezogen und mußten umgerechnet werden.

Für die Beurteilung flächenhafter und zonaler Zusammenhänge ist eine Herstellung von Tiefenplänen erforderlich. Zu diesem Zweck wurden die Meßergebnisse im Maßstab 1:10 000 in „Meßkarten“ eingetragen, in denen dann durch Interpolation die Tiefenlinien ermittelt wurden. Tiefenpläne liegen vor (LAMPRECHT, 1955a) von:

- 1870 vor Westerland
- 1888 Sylt-Nordhälfte und Sylt-Südhälfte
- 1900 Sylt-Nordhälfte, Sylt-Südhälfte und Ellenbogen
- 1936 Sylt-Nordhälfte, Sylt-Südhälfte und Ellenbogen
- 1952 Sylt-Nordhälfte und Ellenbogen
- 1953 Sylt-Nordhälfte, Sylt-Südhälfte, Ellenbogen und Hörnum.

## 2. Auswertung der Lotungen

### a) Querprofile

Eine Betrachtung der graphisch dargestellten Querprofile vermittelt einen Überblick über die Formen des Vorstrandes in den einzelnen Profilen; sie zeigt darüber hinaus, daß die Profilformen im Abschnitt von Profil 35 s bis 25 n (d. h. eine Strecke von rund 30 km Länge von Hörnum bis Klappholtal) in den letzten sieben Jahren im wesentlichen ähnlich geblieben sind. Aus diesem Grunde erschien es sinnvoll, für diesen Abschnitt ein „mittleres Profil“ zu konstruieren.

Unter Verwendung aller gemessenen Querprofile dieses Bereichs wurden eine obere und eine untere Umhüllende ermittelt; d. h. alle gemessenen Profile liegen zwischen diesen beiden Kurven (Abb. 13).

Riffbildungen traten nur in einer Zone von etwa 100 m bis 550 m Abstand von der Uferlinie auf. Die beiden Umhüllungskurven wurden zur Konstruktion eines mittleren Profils benutzt, das als Unterlage für überschlägliche Betrachtungen und für Baumaßnahmen in diesem Bereich angewendet werden kann.

Nördlich und südlich der bisher besprochenen 30 km-Strecke verläuft die — 10 m NN-Linie erheblich weiter vom Ufer entfernt, da hier ausgedehnte Sandbänke vor der Insel liegen. An der Nordküste und östlich der Südspitze bewirken das Lister- und das Hörnum



Tief, daß sich die  $-10$  m NN-Linie sehr dicht am Ufer hält. Im Lister Tief wurden Wassertiefen von über  $40$  m gemessen, im Hörnum Tief Tiefen bis  $25$  m.

Unter Verwendung der Profilpläne wurden die Veränderungen der  $6$ - und  $10$  m-Tiefenlinien vor Sylt (d. h. der Linie, von der ab landwärts der unregelmäßig geformte Vorstrand beginnt und der Linie, bei der die Welle im allgemeinen ihre erste Grundberührung bekommt)

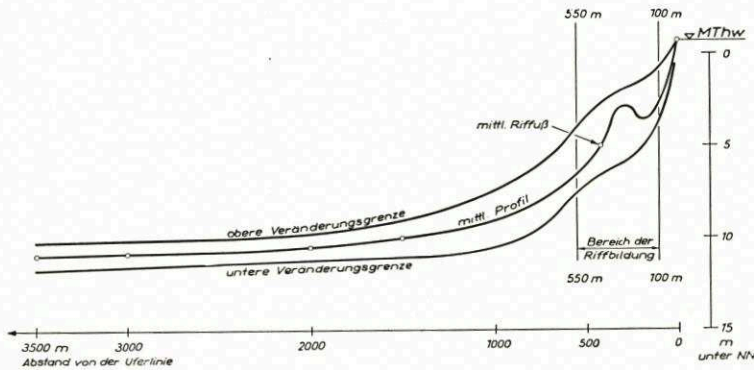


Abb. 13. Mittleres Unterwasserstrandprofil vor Mittel-Sylt (Profil 25 n bis 35 s) seit 1888

seit 1888 graphisch dargestellt (Abb. 14). Als Bezugslinie wurde die heute gültige Standlinie (idealisierte Strandverlauf) gewählt, die in Abbildung 14 als Gerade aufgetragen ist. (Wegen der verzerrten Darstellung der Strandveränderungen hätte eine naturgetreue Wiedergabe der Standlinie einen falschen Eindruck vermittelt.)

Zum Vergleich und als Anhalt wurde zusätzlich der Verlauf der Küstenlinie ( $+3,75$  m NN) angegeben. Da die Strandvermessungen wesentlich genauer als die Lotungen sind, kann der Verlauf der Küstenlinie im Maßstab der Abbildung 14 als fehlerfrei betrachtet werden. Der Angabe der  $-6$  m NN-Linie haftet dagegen ein Fehler von  $\pm 30$  bis  $\pm 40$  m an und der  $-10$  m NN-Linie im Mittelteil der Insel  $\pm 40$  bis  $\pm 60$  m (Tabelle 5).

Die Abbildung 14 zeigt, daß die Veränderungen besonders bei der  $10$  m-Tiefenlinie im allgemeinen außerhalb der Fehlergrenze liegen, d. h. als tatsächliche Veränderungen angesprochen werden müssen. Die  $-6$  m NN-Linie liegt nach der jüngsten Messung im allgemeinen näher am Ufer als nach der ältesten.

Wenn man eine Mittelbildung der Differenzen zwischen der ältesten (1888) und der jüngsten (1952/54) Messung vornimmt, ergeben sich für den Abschnitt Profil 8 s bis 17 n (12,5 km langer Bereich vor dem Mittelteil der Insel, in dem fünf Jahres-Meßreihen vollständig vorliegen), d. h. etwa zwischen Rantum und Klappholtal für die Linie

$-6$ m NN:	81,5 m Rückgang	= 1,24 m/Jahr
$-10$ m NN:	19,6 m Vordringen	= 0,30 m/Jahr.

Der Vergleich der ältesten mit der jüngsten Messung gestattet also nur die Aussage, daß die Veränderungen der letzten 66 Jahre nicht einheitlich und örtlich sehr verschieden sind. Zur besseren Übersicht wurden in Abbildung 15 die Veränderungen der  $-10$  m NN-Linie zwischen den einzelnen Messungen im Abschnitt Profil 8 s bis 17 n einzeln dargestellt und die Gebiete des Tiefenlinienrückgangs schraffiert. Danach lag von 1888 bis 1900 ein starker Rückgang vor, der jedoch im Intervall 1900 bis 1922 zum größten Teil durch ein Vordringen wieder ausgeglichen wurde. In den Zeiträumen 1922 bis 1936 und 1936 bis 1952/54 fand eine ähnliche Pendelbewegung statt, so daß insgesamt nur im Abschnitt Profil 4 n bis 11 n (d. h. im Gebiet des Roten Kliffs) eine nennenswerte Heranwanderung der  $-10$  m NN-Linie

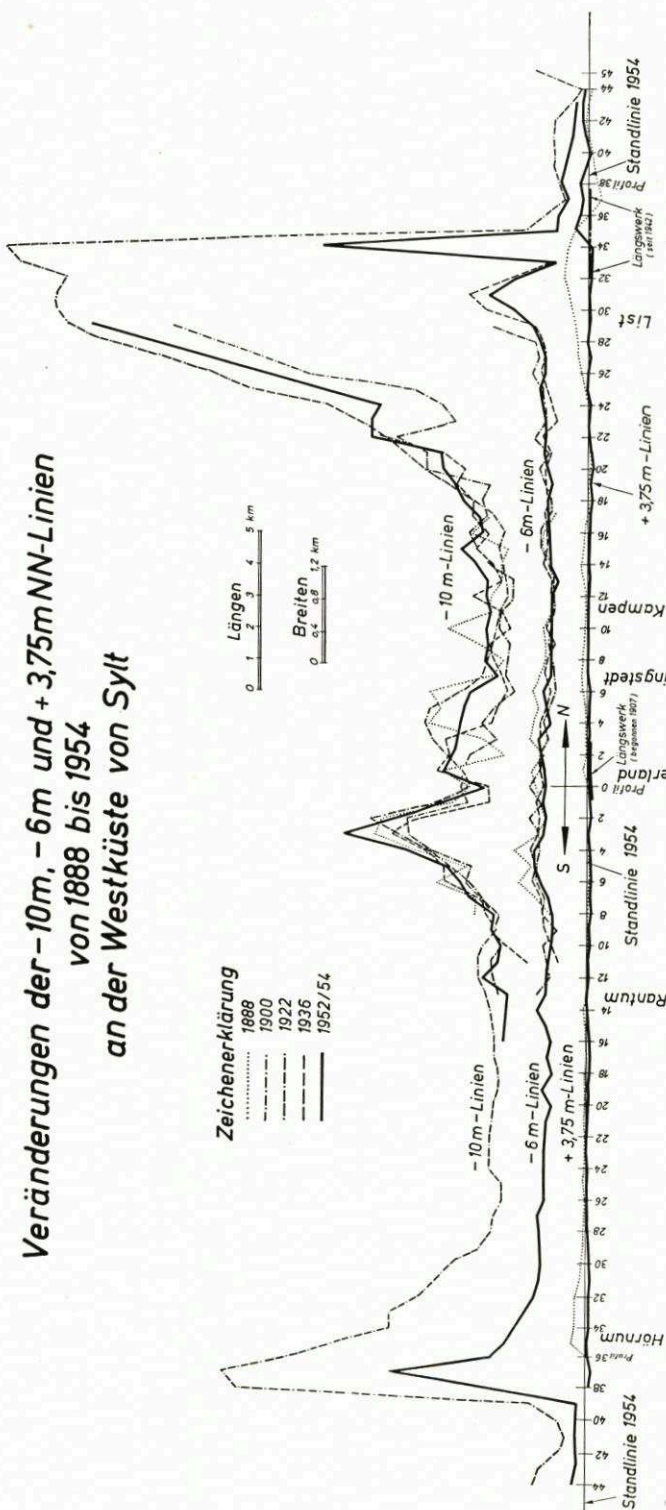


Abb. 14. Veränderung des Unterwasserstrandes vor der Sylter Westküste seit 1888

zu erkennen ist (Mittelwert  $205 \text{ m} = 3,10 \text{ m/Jahr}$ ).

Auch das Wandern der  $-6 \text{ m NN}$ -Linie ist in diesem Gebiet deutlich ausgeprägt; sie näherte sich um  $97,5 \text{ m} (= 1,47 \text{ m/Jahr})$  dem Ufer.

#### b) Tiefenpläne

Während Querprofile die Veränderungen und den Zustand eines kleinen Abschnitts veranschaulichen, vermittelt ein Tiefenplan einen zusammenhängenden Überblick über ein größeres Gebiet. Im großen und ganzen finden wir das bereits durch die Auswertung der Querprofile gewonnene Bild bestätigt. Darüber hinaus lassen sich aber erst jetzt genauere Aussagen über den Verlauf des Sandriffs vor der gesamten Küste machen. Auffällig ist, daß die Tiefenlinien von 6 bis 10 m vor dem Südteil von Westerland eine deutliche Ausbuchtung nach See zu aufweisen, d. h. vor dem „Knick“ der Sylter Westküste befindet sich unter Wasser eine „Nase“ (Abb. 14). Diese Tatsache erscheint merkwürdig, wenn man bedenkt, daß der Knick — diese am stärksten exponierte Stelle der Insel — seit fünfzig Jahren durch massive Bauwerke befestigt ist, d. h. nicht zurückweichen konnte. Man müßte hier ein



verstärktes Heranwandern der Tiefenlinien und damit nicht eine Nase, sondern im Gegenteil eine flache Einbuchtung erwarten. Die Nase dürfte entweder geologischen oder hydrologischen Ursprungs, d. h. entweder ein Restkörper oder eine Ablagerung sein.

Eine weitere Untersuchung dieser Frage ist für den Schutz gerade des Westerländer Strandabschnitts von erheblicher Bedeutung, da ein flacher Strand dem Küstenabbruch einen

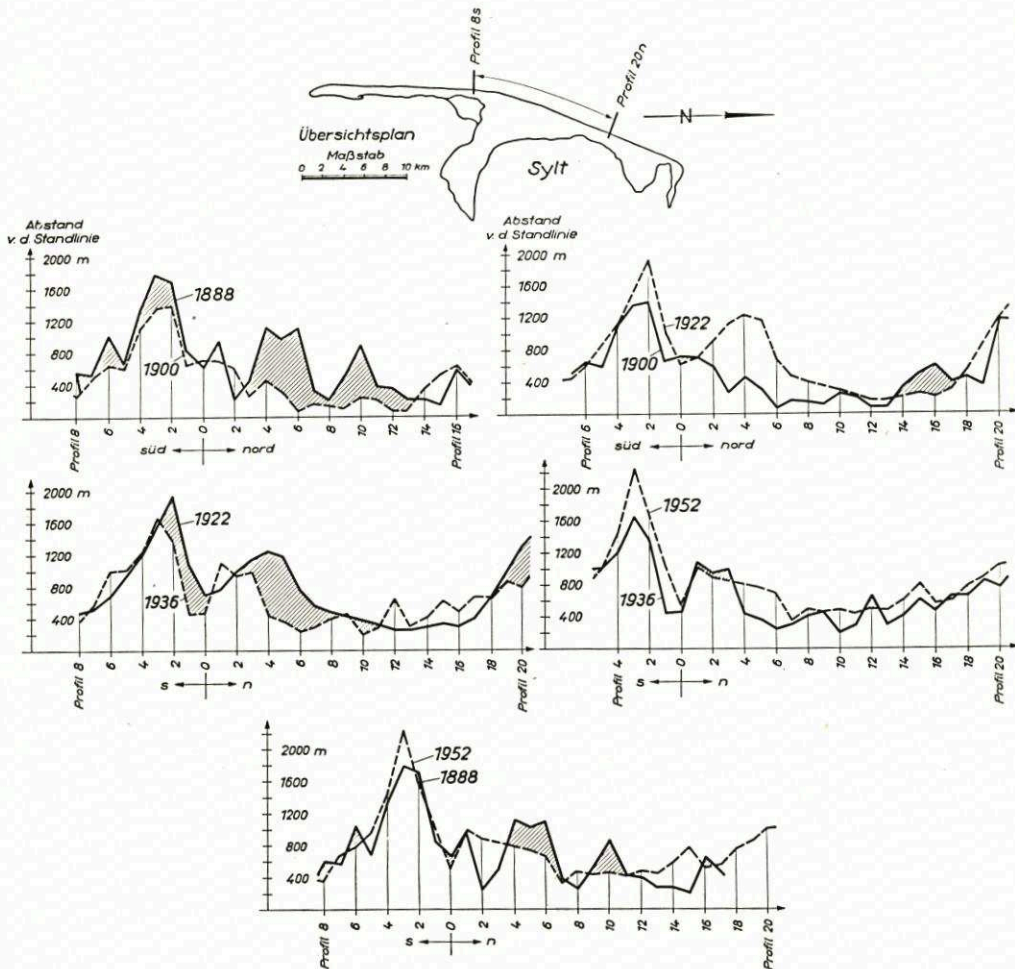


Abb. 15. Veränderung der — 10 m NN-Linie vor Mittel-Sylt von 1888 bis 1952

größeren Widerstand entgegengesetzt als ein steiler, und daher keinerlei Eingriffe in das Kräfte-spiel am Westerländer Unterwasserstrand vorgenommen werden dürfen, die diese natürliche Nase in ihrem Bestand gefährden.

Zur Gewinnung eines genauen Überblicks über kurzfristige Veränderungen des Unterwasserstrandes wären tägliche Lotungen notwendig. Da bisher Lotungen aber nur von Bord aus durchgeführt werden können („Schönwettermessung“), muß auf Messungen bei bewegten oder gar stürmischen Wetterlagen verzichtet werden.

Um dem Ziel einer täglichen Messung jedoch näher zu kommen, wurden im Zeitraum vom 20. 5. 1953 bis zum 8. 10. 1954 fünf Wiederholungslotungen vorgenommen.

Zwischen den Lotungen 6 und 7 in Abbildung 16 traten außer der Sturmflut am 16./17. 1. 1954 (höchster Wasserstand:  $+7,90$  m PN =  $2,24$  m über MThw) dreimal Wasserstände von mehr als  $1,00$  m über MThw und zweimal zwischen  $0,75$  und  $1,00$  m über MThw auf. Das von Süden bis etwa Profil 1 n reichende Riff überragt bei Lotung 6 den hinter ihm liegenden Priel zum Teil um mehr als  $2,50$  m, während es bei Lotung 7 nur etwa  $1,50$  m

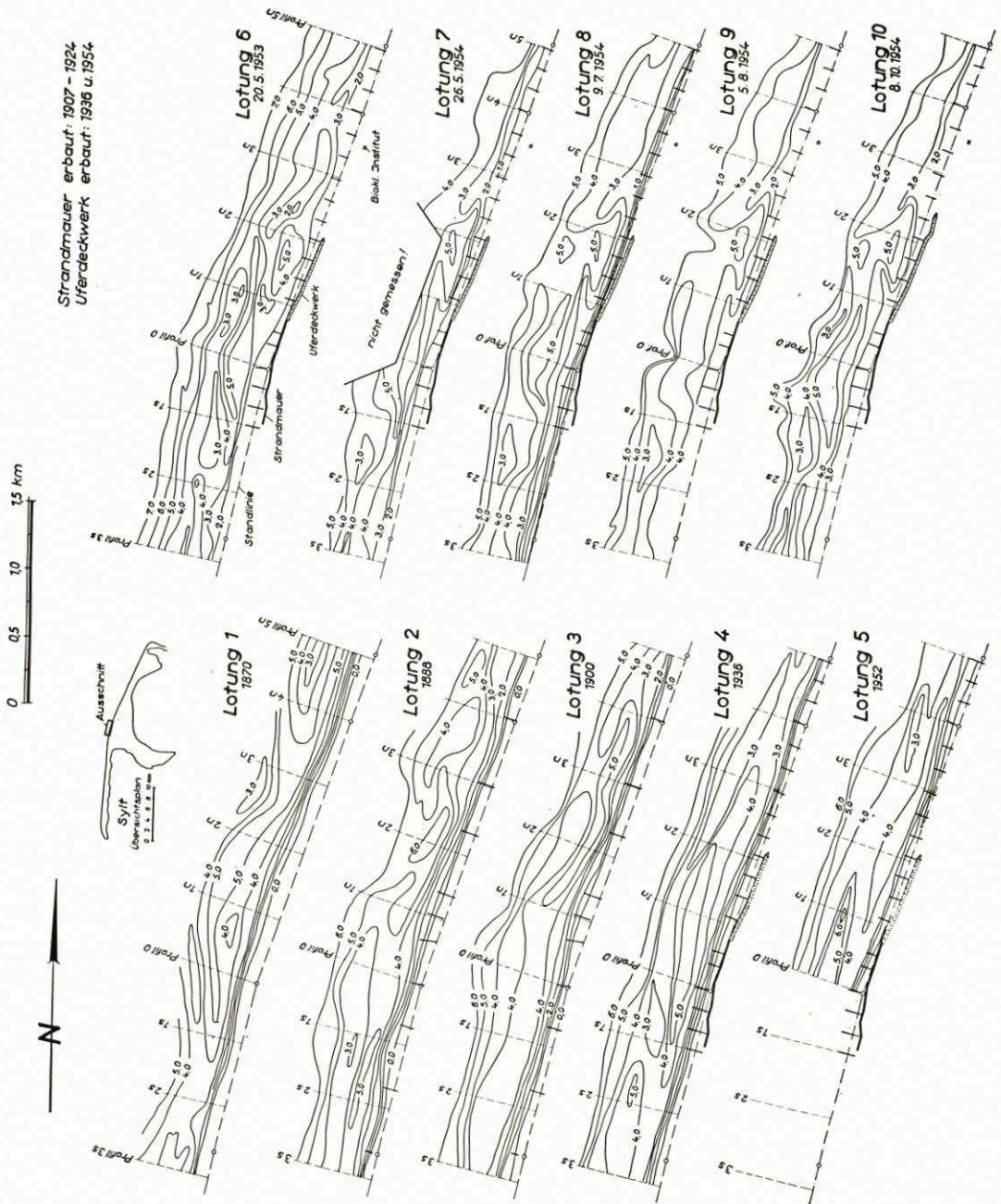


Abb. 16. Veränderung des Unterwasserstrandes vor Westerland/Sylt seit 1870 (Wassertiefen in m unter NN)



sind; das Riff ist also abgeflacht und der Priel hat sich zum Teil aufgefüllt. Der bei Lotung 6 erkennbare etwa 1 km lange Riffkörper bei Profil 2 n und 3 n hat sich an das Ufer herangelegt und ragt bei Lotung 7 nur noch mit seinem südlichen Ende nach See vor. Ebenso ist die kleine Riffkuppe in Profil 1 n an das Ufer herangewandert und bei Lotung 7 als Nase wiederzuerkennen.

Im Gegensatz zu diesen starken Veränderungen sind die Unterschiede bei den Lotungen 7, 8, 9 und 10 gering. Lediglich ein Vergleich der Lotungen 9 und 10 gibt eine Tendenz an, nach der sich das Riff vor dem Südabschnitt stärker auszuprägen scheint, während andererseits der Priel hinter dem Riff deutlicher in Erscheinung tritt. Zwischen den Lotungen 7, 8 und 9



Aufn.: LAMPRECHT, 1954

Abb. 17. Riffzone vor Westerland durch stürmische Brecher gekennzeichnet (Wasserstand: 20 cm über MTnw)

wurde kein Wasserstand beobachtet, der das MThw um 0,75 m oder mehr überragte; lediglich zwischen den Lotungen 9 und 10 traten einmal ein Wasserstand von mehr als 1,00 m über MThw und keine Wasserstände zwischen 0,75 und 1,00 m auf.

Abschließend kann gesagt werden, daß im Beobachtungszeitraum nur die stürmischen Wetterlagen (Wasserstände etwa ab 1,00 m über MThw) erkennbare Einflüsse auf die Topographie des Unterwasserstrandes gehabt haben. Die angewandte Methode läßt jedoch keine Schlüsse über die Sandwanderung in ihrer Gesamtheit zu, da ein gleichmäßig durch das Beobachtungsgebiet hindurchwandernder Materialstrom als solcher nicht erfaßt wird.

### c) Das Sandriff

Schon aus alten Beschreibungen und Chroniken ist das Sandriff vor der Sylter Westküste bekannt (MÜLLER-FISCHER, 1938). Seine Lage zeichnet sich an der hier bei niedrigen Wasserständen oder hohen Wellen auftretenden Brecherzone deutlich ab (Abb. 17 u. 18). Bei sehr niedrigen Wasserständen fällt das Riff gelegentlich trocken. Die starken Veränderungen, denen es unterliegt, werden ebenfalls in alten Beschreibungen erwähnt.

Sandriffe treten vor allen Flachküsten auf und verdanken ihre Entstehung den Wellenkräften (RUSSEL-INGLIS, 1953; GRIESSEIER-VOLLBRECHT, 1954).



Die Riffkörper vor Sylt weisen im allgemeinen einen etwas flacheren seeseitigen als landseitigen Hang auf, was für ihre Entstehung durch von See zum Land wirkende Kräfte spricht. Andererseits ist das Riffgebiet als Sandwanderungszone längs des Strandes anzusehen. PETERSEN (1952) bezeichnet die Sandriffe als „Förderbänder der Sandwanderung“.

Ein Riff steht demnach sowohl unter dem Einfluß von quer als auch längs zum Strand gerichteten Kräften (vgl. auch GRIESSEIER-VOLBRECHT, 1954; MAGENS-WYRTKI-RODEN, 1954). Es wird an einer solchen Stelle entstehen, an der die Wechselwirkung zwischen Welle und Seegrund besonders ausgeprägt ist, d. h. in einer Tiefenlage, die von Wellengrößen und Strandneigung abhängt. Seit 1888 lag der seeseitige Riffuß vor Sylt im Mittel auf  $-5$  m NN.

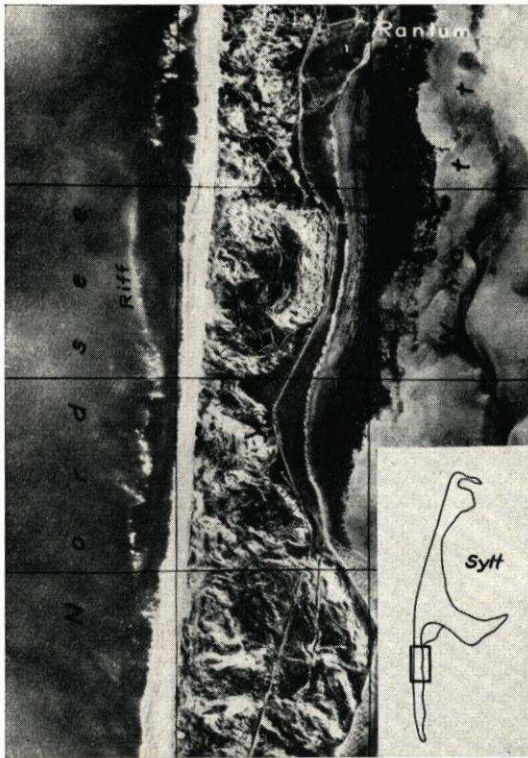


Abb. 18. Luftbild mit Riffzone (1938)

Abbildung 19 vermittelt eine Übersicht über die Lage der Riffkette im Sommer 1952/53; als „Riff“ wurden alle Erhöhungen des Vorstrandes angenommen, die das landseitig gelegene Gebiet um wenigstens 1 m überragten. Ein Riff vor einer Flachküste zwingt bei Sturmfluten die Wellen zum vorzeitigen Brechen und entzieht ihnen dadurch einen Teil ihrer Energie. Von deutlich sichtbarem Nutzen für den Strand hat sich der nördlich von Westerland herangewanderte Riffkörper erwiesen (Abb. 16, Lotung 7). Durch die erheblichen Sandmassen vor dem Strand ist hier die Strandneigung sehr flach geworden, so daß weder bei der Januar-Sturmflut 1954 noch bei den weiteren Sturmfluten und hohen Wasserständen des Jahres 1954 in diesem Küstenabschnitt nennenswerte Abbrüche erfolgten.

### III. Angreifende Kräfte

#### A. Wind

Es wurde gezeigt, daß sich aus der Veränderung des Strandes und des Vorstrandes bis zu einem gewissen Grade Schlüsse auf die angreifenden Naturkräfte ziehen lassen. Diese Schlüsse sind jedoch für eine Beurteilung der Bewegungsvorgänge nicht ausreichend, so daß eine direkte Messung der Kraftgrößen notwendig ist.

Als Ursache für die an der deutschen Küste maßgeblichen Meereskräfte sind der Wind und die Gezeiten anzusehen. Während der Wind den Seegang und damit die Brandung sowie Windtriften und Windstau erzeugt und am trockenen Strand Sand transportiert, entstehen durch die Gezeiten Ströme, die besonders in den Tiefs (Gaten, Priele) zwischen den Inseln eine



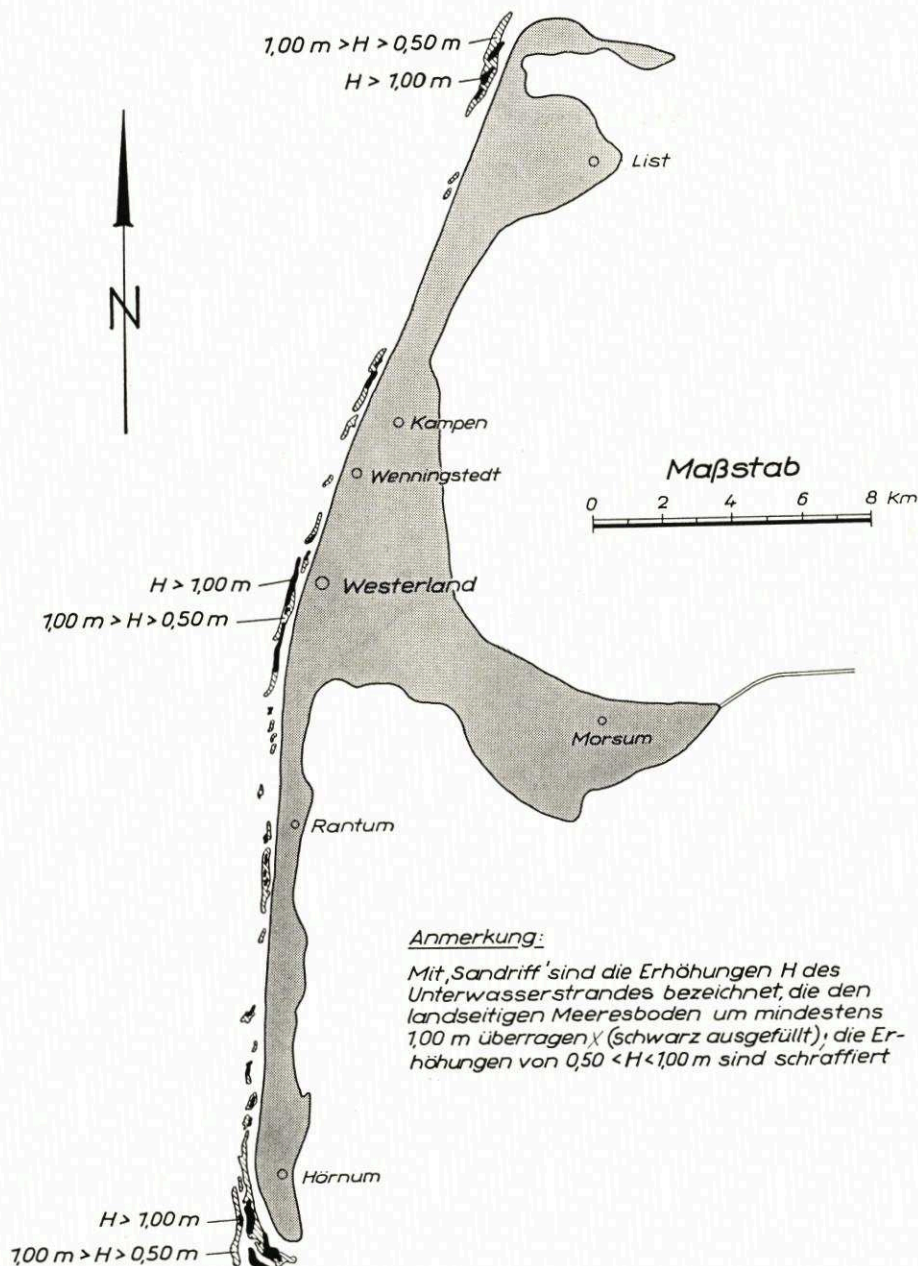


Abb. 19. Verlauf des Sandriffs vor Sylt (nach Lotungen 1952/53)

beachtliche Größenordnung aufweisen. Die Zusammenhänge zwischen Wind und Seegang sind in zahlreichen Veröffentlichungen behandelt (SVERDRUP-MUNK, 1947; ROLL, 1953; BEACH EROSION BOARD, 1954). Auf Grund der neueren systematischen Untersuchungen ist es möglich, die Brandungsgrößen an einer beliebigen Küste vorauszubestimmen, wenn man die Windgrößen im Wellenerzeugungsgebiet kennt.

Da sich die vorliegende Arbeit auf das Sylter Gebiet beschränken muß, sei im folgenden eine Übersicht über die Windverhältnisse in Westerland gegeben. In den Abbildungen 20 und 21 sind die Auswertungen einer Zehnjahresreihe (1927—1936) von HUNDT (Akten des Marschenbauamts Husum) graphisch dargestellt worden. Die Windbeobachtungen wurden dreimal täglich (7.00, 14.00 und 21.00 Uhr) vorgenommen und sind nach relativer Häufigkeit und Richtungsverteilung der Winddruckstunden ausgewertet (Dimension für Winddruck:  $\text{m}^2/\text{s}^2$ ; für

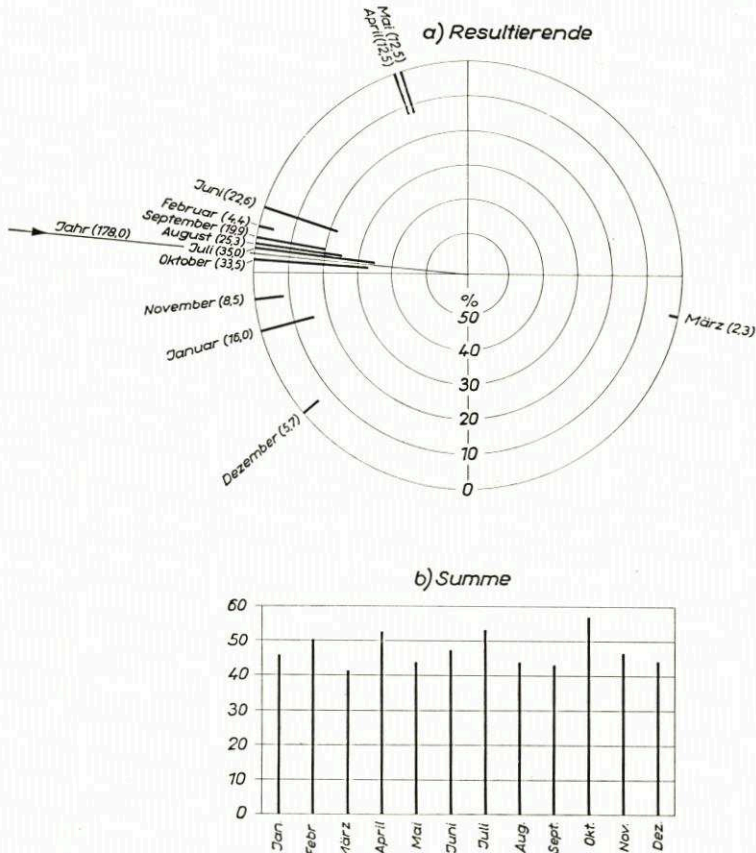


Abb. 20. Graphische Darstellung der monatlichen Winddruckstunden für Westerland/Sylt von 1927 bis

1936; alle Angaben in  $10^3 \cdot \frac{24}{3} \cdot 3600 \text{ m}^2/\text{s}$

Winddruckstunde:  $\text{m}^2/\text{s}$ ). Die Anzahl der Winddruckstunden ist insofern von entscheidender Bedeutung, als die Hebung des Wasserspiegels durch Windstau (z. B. Sturmflut) von ihr abhängt.

Abbildung 20 zeigt die Resultierenden und die Summen der monatlichen Winddruckstunden; von Juni bis Oktober ist eine verhältnismäßig starke Wirkung aus West bis Westsüdwest vorhanden. In den Monaten Januar bis Mai und November bis Dezember treten merklich kleinere und nicht einheitlich gerichtete Werte auf. Da die Monatssummen der Winddruckstunden nicht die gleiche Tendenz aufweisen, sondern ihre Größe etwa gleichmäßig schwankt, kann gefolgert werden, daß die Windstauwirkung stärkemäßig keinen auffallenden jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt; in bezug auf die Richtung ergibt sich, daß die Wirkung in



den Monaten Juni bis Oktober verhältnismäßig einheitlich verläuft, während in den übrigen Monaten die Richtung stark wechselt.

In Abbildung 21 sind die zu einem 10-Jahresmittel verarbeiteten Monatswerte aufgetragen. Die Darstellung der Richtungsverteilung der Winddruckstunden für die vorliegende Untersuchung ist der Darstellung der relativen Häufigkeit (allgemein übliche Darstellungsmethode)

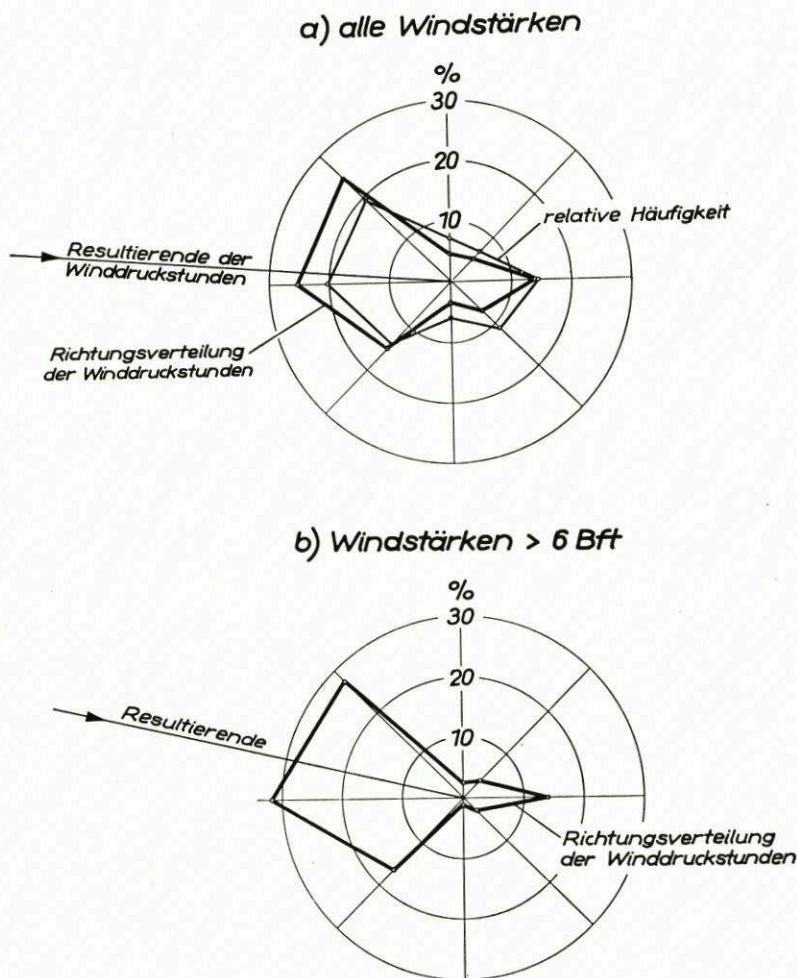


Abb. 21. Graphische Darstellung des 10-Jahresmittels (1927 bis 1936) der Windwerte für  
Westerland/Sylt; alle Angaben in  $10^3 \cdot \frac{24}{3} \cdot 3600 \text{ m}^2/\text{s}$

überlegen, da die Hauptwirkungsrichtung deutlicher hervortritt. Nun werden die Küsten am stärksten bei Sturmfluten beansprucht und verändert, deshalb ist zusätzlich die Richtungsverteilung der Winddruckstunden für Windstärken größer als 6 Bft. angegeben. Auch hier liegt die Hauptwirkung bei Westsüdwest.

Abschließend sei kurz auf die Frage eingegangen, in welchem Maße eine Messung aus drei Punktwerten in 24 Stunden für eine Mittelbildung repräsentativ ist. Zu diesem Zweck wurden die Dauerregistrierungen der Wetterwarte List/Sylt für den Zeitraum vom 1. 3. bis 31. 12. 1954

einmal nach Stundenmitteln und zum andern nach täglich drei Punktwerten (7.00, 14.00 und 21.00 Uhr) ausgewertet (Abb. 22). Eine schwache Abweichung ist vorhanden, sie wird um so kleiner sein, je länger der Beobachtungszeitraum gewählt wird.

Meßzeitraum vom 1.3. bis 31.12.1954

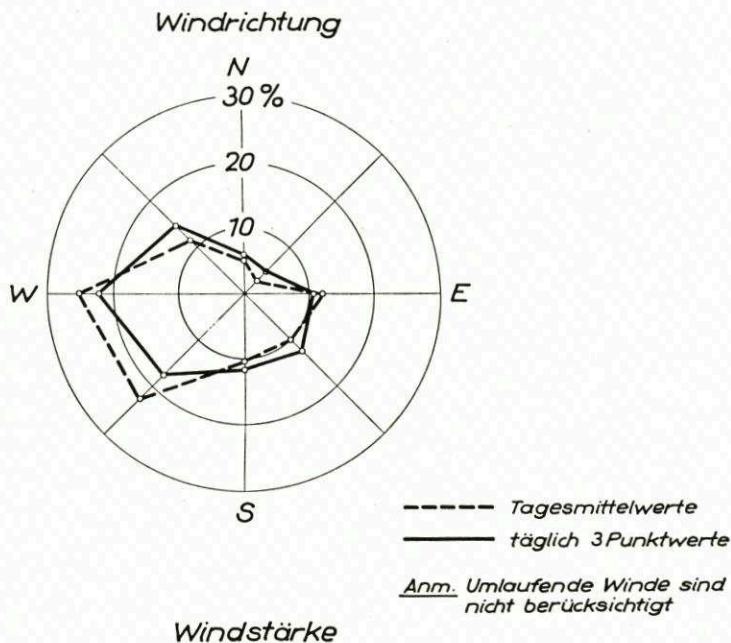


Abb. 22. Windwerte für Westerland/Sylt (aus LAMPRECHT, 1955 b)

Da die täglichen Überwasser- und Unterwasserstrandveränderungen von großer Bedeutung für Bauvorhaben sind und Windkräfte in mehreren Arbeiten als indirekte Ursachen angegeben wurden (MAGER, 1927; MÜLLER-FISCHER, 1938, u. a.), erstreckten sich die Sylter Untersuchungen auch auf die Zusammenhänge zwischen Windkräften, Wasserständen und kurzfristigen Strandveränderungen. Eine ausführliche statistische Behandlung dieser Fragen ist durch



LAMPRECHT (1955 b) erfolgt; es sei hier daher nur erwähnt, daß bei gleichen Wind- und Wasserstandsverhältnissen sowohl Strandabbruch als auch -anwachs gemessen wurde. Bei hohen Wasserständen, großen Windstärken und westlichen (auflandigen Winden) überwiegt jedoch der Abbruch, bei niedrigen Wasserständen, kleinen Windstärken und östlichen (ablandigen) Winden der Anwachs.

Am trockenen Strand und im übrigen Inselgebiet tritt die Windwirkung als Sandwanderung in Erscheinung. Die großen Wanderdünen südlich List mögen hier als ein wirkungsvolles Beispiel genannt werden. Ihre Wandergeschwindigkeit lag in den letzten Jahren zwischen 2 und 10 m jährlich (Akten des Marschenbauamts Husum). Bei westlichen Winden werden am Strand gelegentlich bedeutende Sandmengen auf den Dünen-Luv-Hang geweht und verstärken auf diese Weise die Vordüne.

## B. Wellen und Brandung

### 1. Allgemeines

Die Größe der Wellen hängt von der Winddauer, -stärke und dem Windweg über See ab. Gelangt eine Welle in Ufernähe, so tritt sie schließlich in eine Zone ein, in der die Wassertiefe nicht mehr für eine ungestörte Kreisbewegung der Wasserteilchen ausreicht. In diesem Gebiet, dessen seeseitige Begrenzung etwa dort liegt, wo die Wassertiefe gleich der halben Wellenlänge ist, erfährt die Welle eine immer stärker sichtbar werdende Veränderung ihrer Höhe, Länge und Geschwindigkeit, bis sie in Strandnähe überbricht. Der stark mit Luft, Sand und Kies angereicherte Schwall der gebrochenen Welle läuft nunmehr auf den Strand, wo die restliche Energie verzehrt wird, wenn nicht eine Reflexion an einer steilen Wand stattfindet.

Eine Behandlung der wichtigsten Theorien und neueren Erkenntnisse auf dem Gebiet der Wellen- und Brandungsforschung sowie eine Begriffserläuterung sind vom Verfasser an anderer Stelle gegeben worden (LAMPRECHT, 1955 b); die folgenden Ausführungen lassen sich daher auf eine zusammenfassende Wiedergabe beschränken.

Bei Betrachtung des heutigen Standes der Wellenforschung zeigt sich, daß die Bewegungsvorgänge innerhalb einer Dünungswelle und ein Teil der Erscheinungen in der Brandungszone selbst durch Theorien und Untersuchungen weitgehend analysiert sind. Andererseits wird jedoch von mehreren Seiten (BEACH EROSION BOARD, 1954; MAGENS-WYRTKI-RODEN, 1954; VOLLBRECHT, 1954) darauf hingewiesen, daß sich Windwellen anders verhalten als Dünungswellen und daß der Bodenreibung der Welle vor der Brecherzone besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muß. Für eine Urteilsbildung über die Verhältnisse in einem bestimmten Küstengebiet hat es sich indes nach wie vor als notwendig erwiesen, die dort auftretenden Wellen- und Strömungsgrößen und Uferveränderungen zu messen, um durch eine Kombination der allgemeinen Erkenntnisse mit den örtlichen Werten zu einer Aussage zu gelangen. Der praktische Wert systematischer Wellenuntersuchungen tritt besonders in Erscheinung, wenn es gilt, die Abmessungen eines Küstenschutzbauwerks zu ermitteln; darüber hinaus stützen sich alle anderen Überlegungen über das Geschehen an der Küste (z. B. Sandtransport, Riffbildung, Wellenaufbauhöhe) auf die vorhandenen Wellenwerte. Für den Mittelteil von Sylt kommt den Wellenkräften eine hervorragende Bedeutung zu, da die Tideströmungen hier in Strandnähe gering sind.

### 2. Wellenmessungen

#### a) Beobachtungen von Wellengrößen

Die Wellengrößen wurden auf Sylt an feststehenden, z. T. 400 m vor dem Strand eingespülten Meßskalen mit einem Fernglas abgelesen. Auf einer 3,5 km langen Meßstrecke vor Westerland wurden 1954 neuneinhalb Monate hindurch täglich in vier Meßprofilen bei Thw und Tnw die Wellenhöhe, -länge, -periode, -geschwindigkeit und -richtung gemessen. Die Wellenbeobachtungen sind zu Monats- und zu einem 10-Monatsmittel verarbeitet (vgl. Abb. 23 und 24). Die größte zwischen 1952 und 1956 vor Westerland gemessene Wellenhöhe betrug



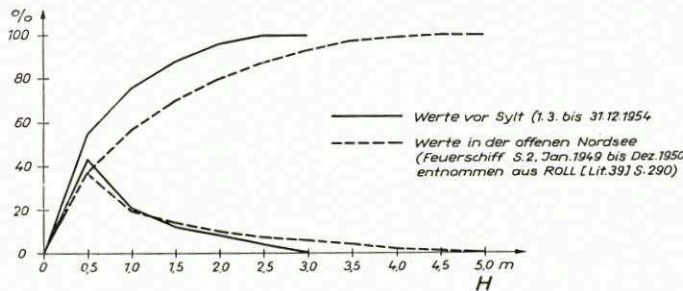


Abb. 23. Messung von Wellenhöhen der Nordsee  
(aus LAMPRECHT, 1955 b)

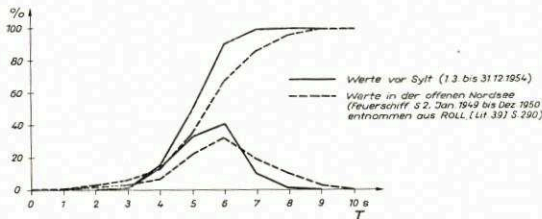
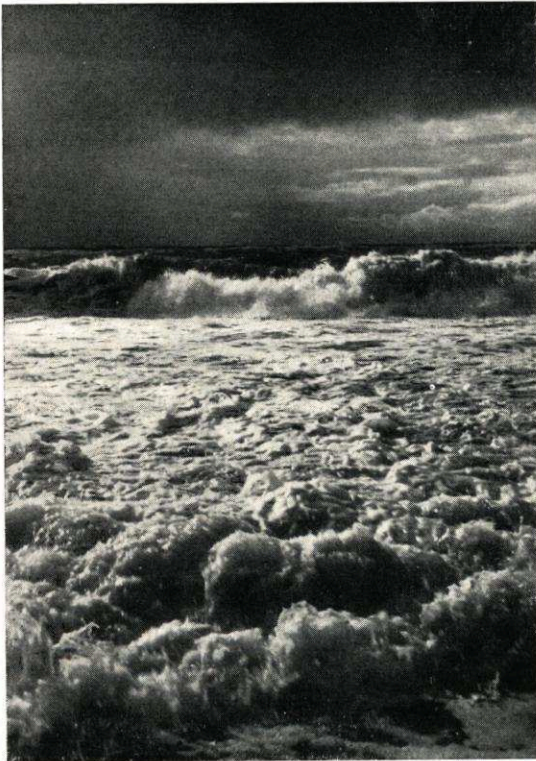


Abb. 24. Messung von Wellenperioden der Nordsee  
(aus LAMPRECHT, 1955 b)



Aufn.: LAMPRECHT, Jan. 1954

Abb. 25. Brandung bei Sturmflut

etwa 3 m (Sturmflut 16. 1. 1954; Abb. 25); als größtmögliche Wellenhöhe wird 4 m angenommen. Die Messungen der Wellenaufbauhöhen auf drei verschiedenen rauhen Deckwerken ergaben, daß sich durch Vergrößerung der Oberflächenrauigkeit die Aufbauhöhen bis auf 69 % vermindern lassen (Abb. 26 u. 27).

Auf Sylt wurde in mehreren Fällen beobachtet, daß Strandwälle durch Wellen auf- und auch wieder abgebaut wurden. Zusammenhänge zwischen Wellenwerten und Strandveränderungen sind im Schrifttum mehrfach erwähnt worden (DOBBIE, 1952; MAGENS-WYRTKI-RODEN, 1954 u. a.).

#### b) Mikroseismische Messungen der Brandungsenergie

Da es bis heute keine erfolgreiche Methode der direkten Messung von Wellenenergien vor der Küste gibt, wurde auf Sylt versucht, durch Messen der Bodenschwingungen am Strand Zahlenwerte über die in Strandnähe freiwerdende Wellenenergie zu erhalten (LAMPRECHT, 1955 b). In Zusammenarbeit mit dem Geophysikalischen Observatorium der Universität Hamburg, das die notwendigen Geräte entwickelte sowie die Messungen durchführte und sie physikalisch auswertete, wurde bei normalem Wetter (Windstärke 4–5 Bft. aus West bis Südwest) und bei einer Sturmflut (16. und 17. 1. 1954; höchster Wasserstand: + 7,90 m PN = 2,24 m über MThw) die Bodenerschütterung gemessen.

Für die physikalische Auswertung mußten folgende Annahmen getroffen werden, deren Richtigkeit noch zu untersuchen bleibt:

1. Die mikroseismischen Verhältnisse im trockenen Sand (Strand) sind gleich denen im nassen Sand (Meeresboden).



2. Die Oberflächenwellen geben die Schwingungsverhältnisse vollständig und richtig wieder (durch Fallversuche wurden Oberflächen-, Raum- und Schichtwellen nachgewiesen).

Unter Benutzung der Dreiecksaufstellung der Geräte, der Dispersionseigenschaft von Wellen und der Fallversuche zur Eichung des Verfahrens (ein Zentnergewicht wurde aus 1 m Höhe fallengelassen und die Schwingungen in verschiedenen Abständen von der Fallstelle registriert) war es möglich, Angaben über die Richtung, die Entfernung und die Größe von etwaigen Energie-Erregungszentren zu ermitteln.

Als wichtigste Ergebnisse seien erwähnt:

1. Die Energien bei Sturmflut verhielten sich zu denen bei normalem Wetter etwa wie 220 : 1.
2. Bei Sturmflut traten rund 100 m vor der Westerländer Strandmauer Stöße auf den Meeresboden bis zu 10 000 mkg auf (Abb. 28).
3. Bei einigen markanten Einzelwellen (solitary wave) erfolgte die Energieabgabe an den Meeresboden in einzelnen Stößen nacheinander; die größten Stöße lagen nicht in der Brecherzone, sondern rund 40 m weiter seewärts (Abb. 29).

Da diese Ergebnisse zum Teil auf Annahmen beruhen, dürfen sie noch nicht als Tatsachen angesehen werden. Die Mikroseismik zeichnet sich jedoch als eine Methode ab, mit deren Hilfe einige Probleme im Brandungsgebiet erfolgreich bearbeitet werden können. Es ist daher geplant, die Untersuchungen in dieser Richtung fortzusetzen.

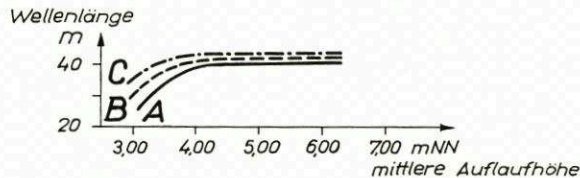
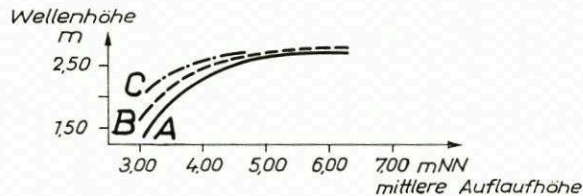
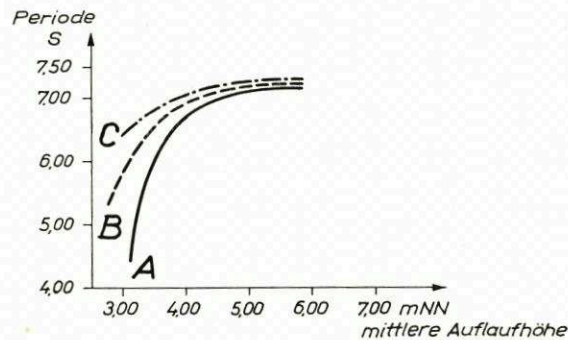
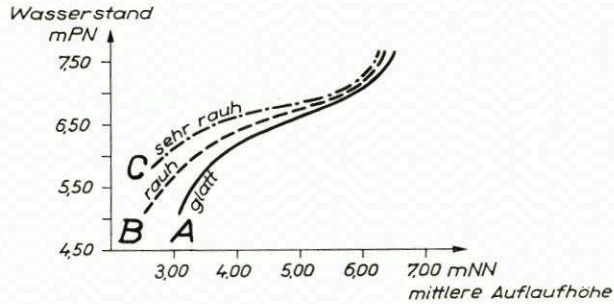


Abb. 26. Zusammenhang zwischen Wasserstand und Wellenwerten einerseits und der mittleren Wellenaufbauhöhe auf Deckwerken vor Westerland/Sylt andererseits (aus LAMPRECHT, 1955 b) (vgl. Abb. 27)

### C. Strömungen

Der Nord- und Südteil von Sylt wurden als Hakenbildungen charakterisiert, d. h. ihre Entstehung setzt nördlich und südlich gerichtete Strömungsergebnisse voraus. Dabei läßt sich zunächst noch nicht entscheiden, ob dies auf die Tide (Ebbe- und Flutstrom), den Wind (Windtrift, Windstau), die Wellen (Brandungsstrom) oder auf ein Zusammenwirken der drei Faktoren zurückzuführen ist. Auf Grund neuerer Forschungsergebnisse (BEACH EROSION BOARD,

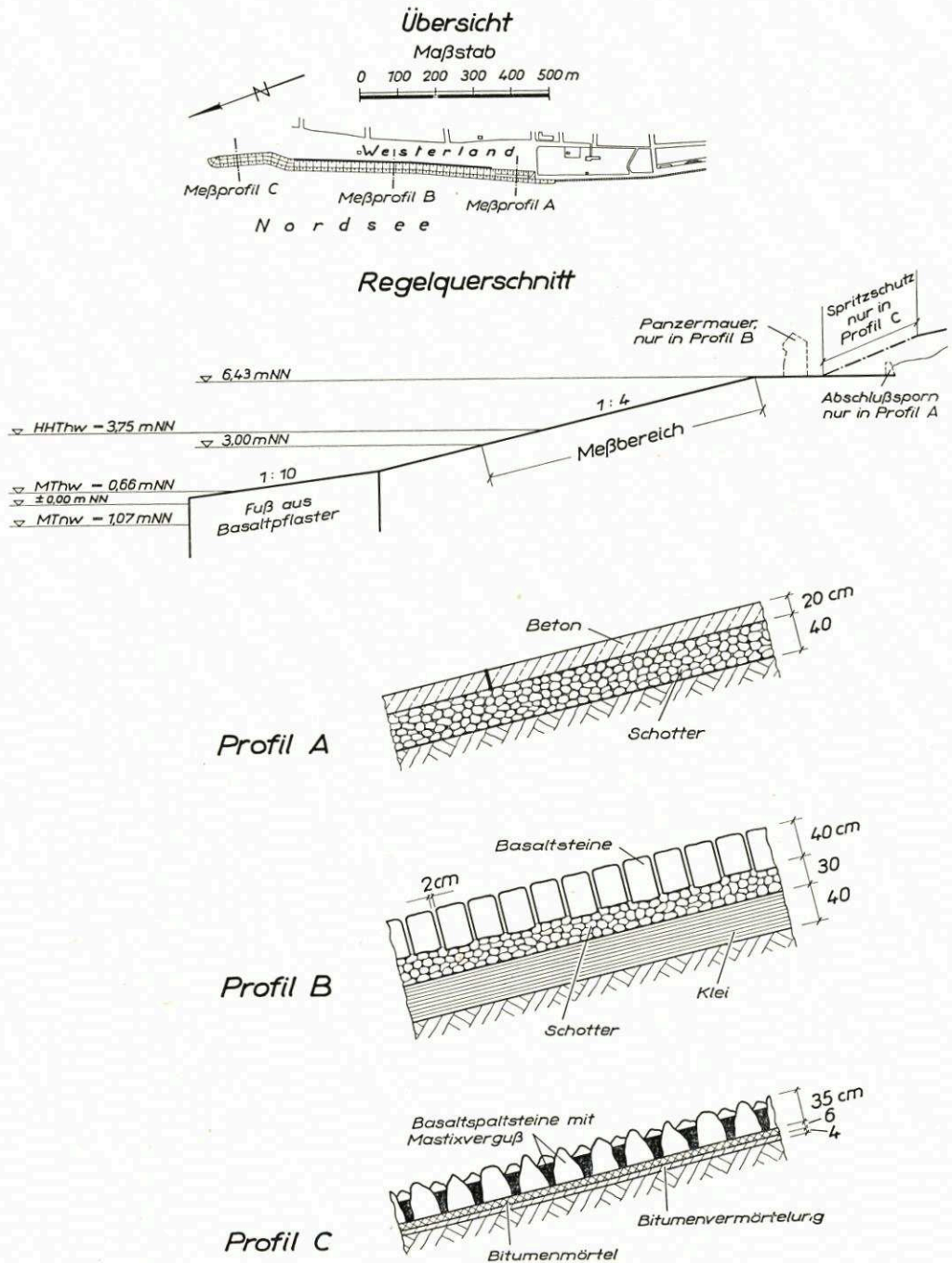


Abb. 27. Darstellung der Meßprofile für den Wellenauflauf auf Deckwerken vor Westerland/Sylt (aus LAMPRECHT, 1955 b)



1954; MAGENS-WYRTKI-RODEN, 1954; GRIESSEIER-VOLLBRECHT, 1955) wird jedoch bei Verhältnissen wie vor Mittel-Sylt den Brandungskräften der überwiegende Einfluß zugeschrieben.

Eine erschöpfende Beurteilung der Strömungen um Sylt ist noch nicht möglich, da entsprechende Messungen fehlen. Jedoch sollen im folgenden die bisher vorgenommenen Untersuchungen genannt und daraus die möglichen Schlüsse gezogen werden.

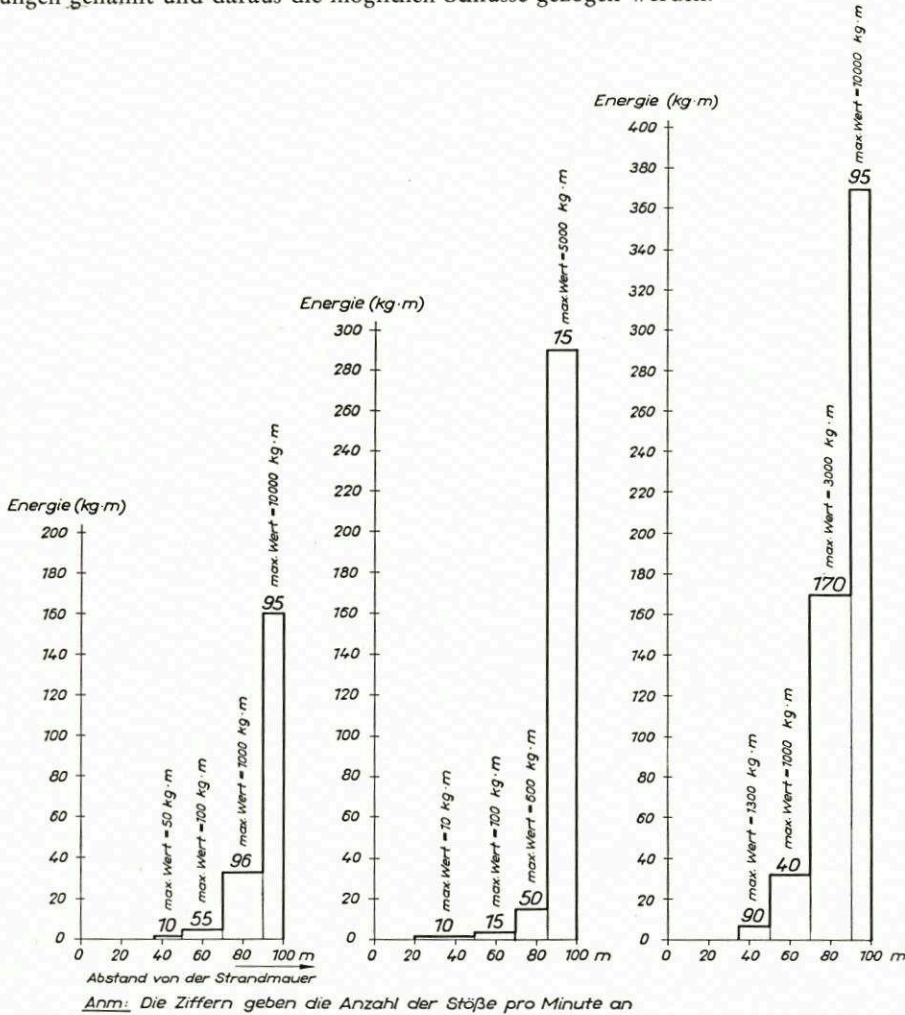


Abb. 28. Mikroseismische Messungen der Wellenenergie an drei Punkten vor der Strandmauer Westerland/Sylt bei der Sturmflut am 17. 1. 1954. Es sind die mittleren und maximalen Stoßenergien auf dem Meeresboden sowie die mittlere Anzahl der Stöße je Minute angegeben (vgl. LAMPRECHT, 1955 b)

Die ersten bekannten Strömungsmessungen vor Mittel-Sylt wurden 1869/70 mit einem WOLTMANNschen Flügel und mit eingeworfenen Flaschen (Schwimmermessung) durchgeführt und ergaben Maximalgeschwindigkeiten von 0,42 m/s; der Flutstrom lief etwa nach Norden, der Ebbestrom nach Süden (MÜLLER-FISCHER, 1938). Damals wurde bereits darauf hingewiesen, daß diese „Schönwettermessungen“ keine Auskunft über die Verhältnisse bei stürmischem Wetter geben können.

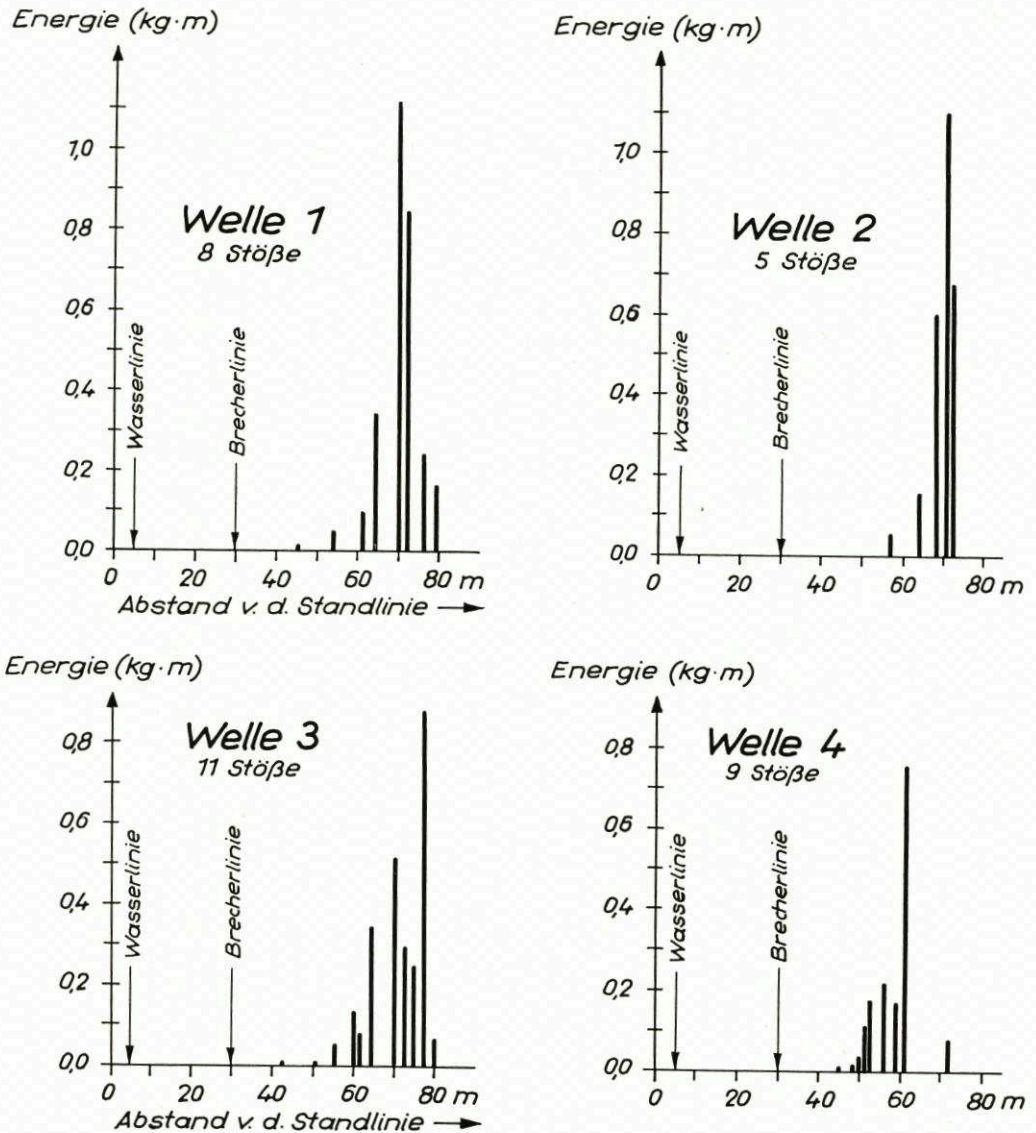


Abb. 29. Mikroseismische Messungen der Wellenenergie vor Sylt; Energieabgabe einzelner Wellen (vgl. LAMPRECHT, 1955 b)

Im August 1921 wurde in den Tiefs um Sylt ein Meßprogramm gemeinsam von der Marineleitung, dem Institut für Meereskunde an der Universität Berlin und der Deutschen Seewarte abgewickelt (SCHUMACHER-THORADE, 1923). Es gelangten fünf Fahrzeuge zum Einsatz. Wegen zahlreicher meßtechnischer Schwierigkeiten — insbesondere infolge ungünstigen Wetters — konnten die meisten Messungen nicht in dem Maße ausgewertet werden, wie es geplant war. Es ergab sich, daß in den Prielsystemen Lister- und Hörnum Tief — auch in den „Unterläufen“ — ein rein alternierender und an einem Meßpunkt rund 40 km westlich von Sylt-Ellenbogen bei etwa 20 m Wassertiefe ein Übergangszustand von einem alternierenden zu einem



Drehstrom vorhanden war; während die Flutstundenlinien vor der Insel im wesentlichen in Nordsüdrichtung verliefen, zeigte sich im Wattgebiet ein Ostwestverlauf, wobei ein Reststrom nach Norden festgestellt wurde.

Die zusammenfassende Betrachtung gipfelt in der Forderung nach möglichst langfristigen und gleichzeitigen Messungen an vielen Punkten (synoptische Messung).

Die dann folgenden systematischen Strömungsmessungen bei Sylt fanden von 1936 bis 1939 durch die Forschungsgruppe Sylt der Forschungsstelle Westküste statt und beschränkten sich auf das Gebiet des Lister Tiefs (vgl. Aufsatz HUNDT in diesem Heft).

Die Beobachtung, daß die Sandwanderung im westlichen Teil des Lister Tiefs nach Westen, die im östlichen aber nach Osten gerichtet ist, läßt den Schluß zu, daß das Lister Tief fortwährend weiter ausgeräumt wird (vgl. auch ZAUSIG, 1939). Dabei wirkt das von der Sylter Westküste herant transportierte Material diesem Vorgang entgegen.

Die Untersuchungen der Vorarbeitenstelle Sylt des Marschenbauamts Husum von 1952 bis 1956 mußten auf Grund

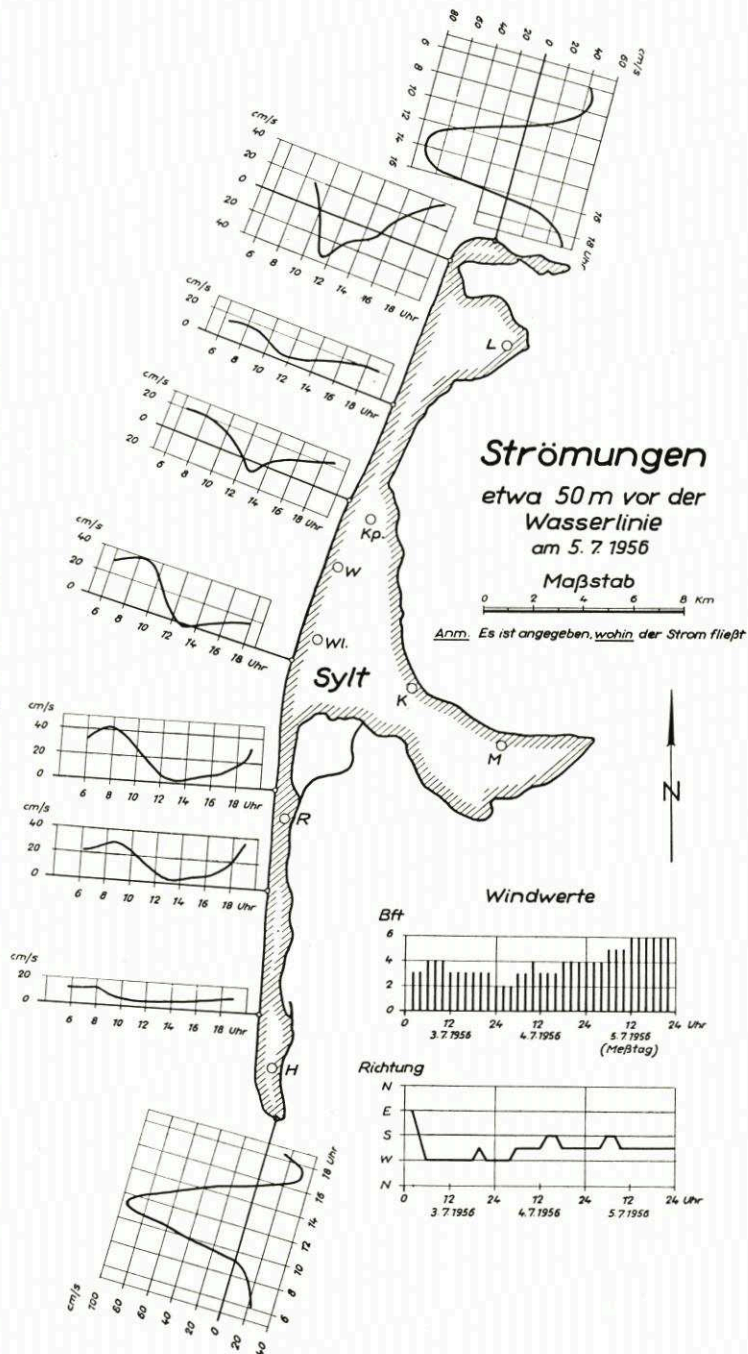


Abb. 30. Graphische Darstellung von gleichzeitigen Schwimmermessungen an neun Meßpunkten über dreizehn Stunden

Tabelle 6  
Strömungsrichtungen vor Mittel-Sylt  
(beobachtet an Strömungstonnen jeweils rund 200 und 400 m vor der Wasserlinie, vgl. Abb. 1)

Datum (Meßtag)	Windwerte (List/Sylt)				Profil 4 nord				Profil 4 süd				Bemerkungen		
	Tagesmittel der jeweils letzten 3 Tage (einschließlich Meßtag)				Flutstrom von: S nach N		Kente- Ebbestrom von: S nach N		Flutstrom von: S nach N		Kente- Ebbestrom von: S nach N				
	Rich- tung	St.	Rich- tung	St.	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden			
	Rich- tung	St.	Rich- tung	St.	Bft.	Bft.	Bft.	Bft.	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden	Stunden		
25. 6. 1953	E	5	E	4	ENE	3			1,0	×	×	2,7	×	2,2	Flügelmessung Flügelmessung
30. 6. 1953	ENE	3	umfld.	2	NNE	3		×	—	×	×	—	×	—	
22. 9. 1953	SSE	4	S	5	SW	5		×	—	×	×	—	×	—	
5. 10. 1953	WSW	3	NW	5	NNW	6		×	—	×	×	—	×	—	
6. 10. 1953	NW	5	NNW	6	N	4		×	—	×	×	—	×	—	
7. 10. 1953	NNW	6	N	4	NNE	2		×	1,1	×	×	3,5	×	2,1	
8. 10. 1953	N	4	NNE	2	umfld.	2		×	1,2	×	×	—	×	—	
9. 10. 1953	NNE	2	umfld.	2	WSW	3		×	1,3	×	×	—	×	—	
12. 10. 1953	W	5	SSW	3	SSE	4		×	1,5	×	×	—	×	—	
13. 10. 1953	SSW	3	SSE	4	SE	3		×	1,9	×	×	—	×	—	
16. 10. 1953	ESE	3	NE	3	NE	2		×	—	×	×	—	×	—	
22. 10. 1953	E	2	SE	3	ESE	4		×	—	×	×	—	×	—	
23. 10. 1953	SE	3	ESE	4	SSE	3		×	—	×	×	—	×	—	
21. 11. 1953	WNW	5	W	5	WNW	5		×	—	×	×	—	×	—	
19. 12. 1953	SE	2	SSE	3	ENE	4		×	—	×	×	—	×	—	
30. 12. 1953	NNW	4	NNE	3	ENE	2		×	—	×	×	—	×	—	
8. 1. 1954	SSE	2	ENE	3	NW	3		×	—	×	×	—	×	—	
9. 1. 1954	ENE	3	NW	3	NNW	5		×	—	×	×	—	×	—	Eistreiben
10. 2. 1954	SE	5	E	3	ENE	3		×	—	×	×	—	×	—	
Mittel:					1,3	2,4	3,0	1,8							



der bisher auf Sylt und auch andernorts durchgeführten Messungen davon ausgehen, daß nur synoptische Methoden erfolgversprechend sind; zudem war es wichtig, die Beobachtungen auch auf stürmische Wetterlagen auszudehnen. Da die Durchführung eines großräumigen langfristigen Meßprogramms mit selbstschreibenden Geräten, z. B. Schaufelradstrommessern, aus tech-

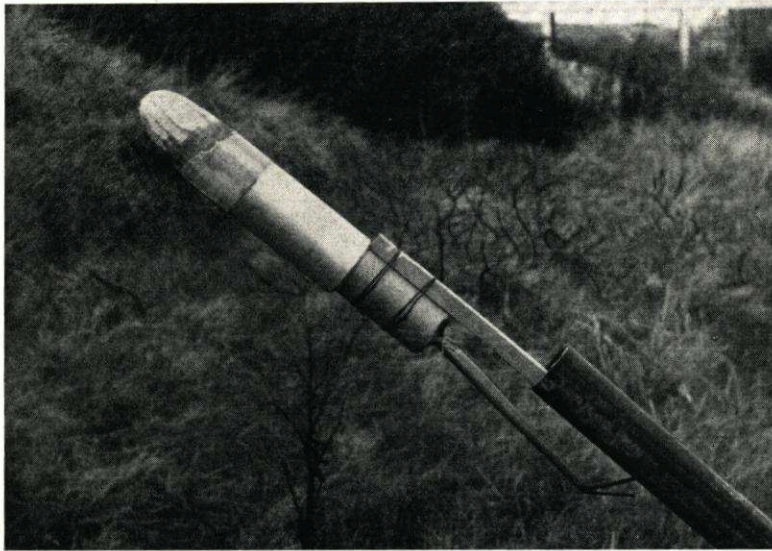


Abb. 31  
Rakete mit Farblösung für Schwimmertmessungen bei Sturm (Raketlänge etwa 20 cm)  
Aufn.: LAMPRECHT,  
Mai 1955

Tabelle 7  
Strömungsgeschwindigkeiten vor Westerland/Sylt bei stürmischem Wetter  
(Messung mit Farbraketen)

Datum	Windwerte				Wellenwerte		Uhrzeit	Strömungs- geschwindig- keit	Strömungs- richtung nach	Abstand von der Wasser- linie	Bemerkungen
	Tagesmittel		z.Z.d.Messg.		Richtung	Höhe					
	Stärke	Richtung	Stärke	Richtung							
	Bft		Bft			m		m/s		m	
5. 5. 1955	6	WSW	6	WSW	WSW	2,5	11.45	0,60	N	100	Thw: 11.50 Uhr (noch schwacher Flutstrom nach N)
							12.15	0,36		200	
							12.35	0,38		300	
							12.40	0,51		300	
18. 5. 1955	7	SSW	6	SW	SW	3	18.30	0,63	N	150	Tnw: 16.13 Uhr (schon schwacher Flutstrom nach N)
							18.35	0,84		150	
							18.50	0,72		150	
							18.55	0,85		150	

nischen Gründen bisher nicht möglich war, konnten sich die Untersuchungen vorerst nur provisorischer Methoden bedienen, die indes eine Reihe wertvoller Aussagen ermöglichten.

Zur Beobachtung der Strömungsrichtung und der Kenterpunkte vor Mittel-Sylt wurden 2 km nördlich (Profil 4 n) und 2 km südlich (Profil 4 s) von Westerland (Abb. 1) je zwei Schifffahrtstonnen in etwa 200 m und 400 m Abstand von der Uferlinie mit rund 15 m langen Ketten an Betonklötzen verankert. Die Tonnen waren so beschwert, daß sie nur etwa



20 cm aus dem Wasser ragten und trugen oben ein 1,50 m langes rotes Gasrohr (Durchmesser 3 cm), so daß eine sichere Beobachtung mit einem Glas auch bei Sturm möglich war und andererseits der Windeinfluß möglichst klein wurde. Mit Hilfe dieser Tonnen wurden 1953/54 in neunzehn Fällen die Strömungsrichtung und die Kenterung<sup>2)</sup> ermittelt.

Da zu erwarten war, daß bei stürmischen Winden aus Nordwest oder Südwest vor Mittel-Sylt die Brandungsströmung die Tideströmung überdeckt, wurden die meisten Beobachtungen bei ruhigen Wetterlagen vorgenommen. Die Ergebnisse in Tabelle 6 zeigen, daß bei ruhigen

Wetterlagen der Flutstrom etwa von Süd nach Nord und der Ebbestrom umgekehrt von Nord nach Süd verläuft. Bei Windstärken etwa von 4 Bft. ab aus Nordwest oder Südwest beginnt die Brandungsströmung den Tidestrom zu überdecken, d. h. eine Kenterung entfällt.

Bei ruhigem Wetter trat die Kenterung nach Thw im nördlichen Profil stets eher auf als im südlichen, die Kenterung nach Tnw dagegen im südlichen eher als im nördlichen. Ein „Scheitelpunkt“ der Strömung vor Westerland (vgl. GRIPP, 1944) konnte in keinem Falle nachgewiesen werden.

Zur Gewinnung eines Bildes über die Größenordnung der Strömungen wurden in beiden Profilen je zwei Flügelmessungen bei ruhigem Wetter durchgeführt; die größte Flutstromgeschwindigkeit lag bei etwa 30 cm/s, die größte Ebbestromgeschwindigkeit bei etwa 35 cm/s (Strömungen über die Lotrechte gemittelt).

Um der Forderung nach synoptischen Messungen näher zu kommen, erfolgten vier Messungen an je neun bis zwölf Meßpunkten gleichzeitig. Die

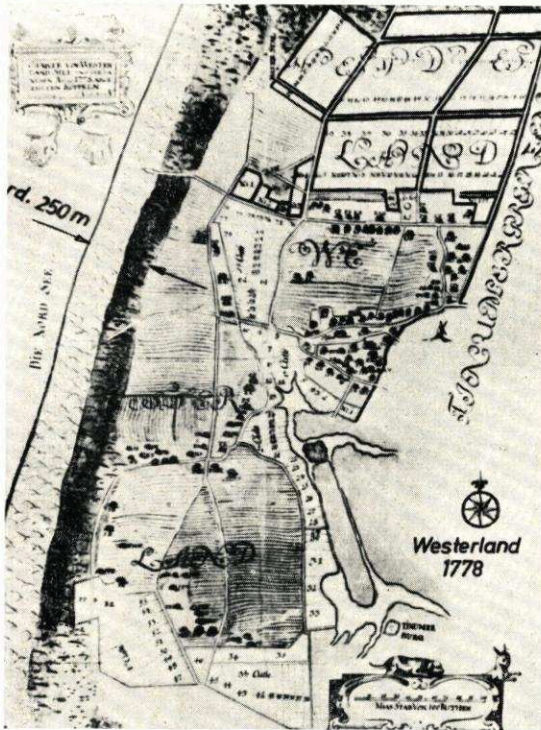


Abb. 32. Karte von Westerland (1778)

Punkte waren über die Sylter West-, Nord- und Südküste verteilt; die Messungen fanden in halbstündigen Abständen statt und dauerten dreizehn Stunden. Gemessen wurde mit wurfgranatenähnlichen Holzschwimmern, deren Laufzeit durch zwei (am Strande abgesteckte) Profile gestoppt wurde. Abbildung 30 enthält die Ergebnisse einer Messung vom 5. 7. 1956, die insofern beachtenswert ist, als hier offenbar eine Wetterlage erfaßt wurde, bei der noch gerade eine Stromkenterung vor Mittel-Sylt stattfindet. Während an den beiden Vortagen Winde um Stärke 3 Bft. aus West bis Südwest auftraten, steigerte sich die Stärke am Meßtag bis auf 5 und 6 Bft. Für die nördliche Hälfte von Sylt ist jedoch trotz des frischen Windes noch eine Kenterung festzustellen. Weiterhin wird deutlich, daß die Strömungen an fast allen Punkten dem Strömungsrhythmus des Tiefs folgten.

Unter Verwendung von Raketen mit einer Farbfüllung (Uranin) konnten vor Sylt erst-

<sup>2)</sup> Unter Kenterung wird der vom Strand aus zu beobachtende Wechsel der Strömungsrichtung verstanden.



malig die Strömungen bei stürmischen Wetterlagen gemessen werden. Die von der Vorarbeitenstelle Sylt entwickelten Raketen (Abb. 31) tragen einen Natriumkopf, der beim Auftreffen auf die Wasseroberfläche zerspritzt und die Farblösung freigibt. Vom Land aus wurde dann das seitliche Abwandern des Farbflecks eingemessen. Einige Ergebnisse sind in Tabelle 7 angegeben. Es sei besonders darauf hingewiesen, daß bei der sturmflutähnlichen Wetterlage am 18. 5. 1955 nur Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 0,85 m/s gemessen wurden, obwohl Brandung und Wind aus Südwesten kamen, d. h. in etwa 45 Grad zur Küste und damit in einer Richtung verliefen, die den größten Brandungsstrom erzeugt.

Außerdem erfolgten bei entsprechenden Wetterlagen Beobachtungen des vor der Küste treibenden Eises. Dabei wurden unter anderem unterschiedliche Strömungsverhältnisse zwischen Nord- und Mittel-Sylt beobachtet: Während sich bei Nord-Sylt in den Bühnenfeldern durch die außen vorbeiziehende, kontinuierliche Tideströmung ein Neerstrom (Walze mit

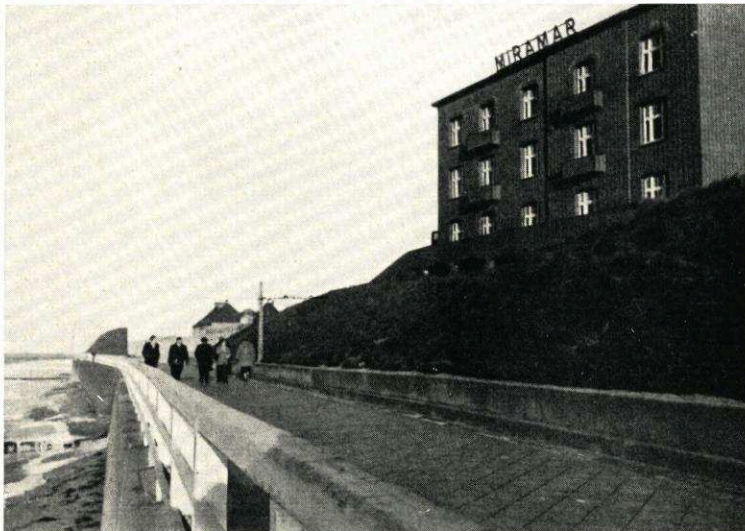


Abb. 33  
Strandmauer Westerland mit „Hotel Miramar“  
Aufn.: LAMPRECHT, Dez. 1956

senkrechter Achse) ausbildete, so daß die Strömung am Strand entgegengesetzt wie draußen verlief, wurde vor Mittel-Sylt in den Bühnenfeldern am Strand die gleiche Strömungsrichtung wie draußen festgestellt. Vor Mittel-Sylt entstand also in jedem Bühnenfeld eine Brandungsströmung.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die für den Abbruch der Sylter Westküste entscheidenden Strömungen im etwa 25 km langen Mittelabschnitt in ihrer Entstehung nicht auf die Tide, sondern auf die Brandung zurückgeführt werden müssen. Die Brandung ist für den Küstenabbruch in zweifacher Hinsicht von Bedeutung: Einmal wird durch Wellen und Schwall auf der Schorre und am Strand Material losgelöst und aufgenommen; zum andern transportiert der Brandungsstrom dieses Material mit pulsierenden Bewegungen längs der Küste entsprechend der Stromrichtung nach Norden oder Süden. Die resultierende Geschwindigkeit der Brandungsströmung ist nicht groß; es wird vermutet, daß auch bei Sturmfluten vor Sylt keine Längsströmungen auftreten, die das Maß von 1,50 m/s wesentlich überschreiten.

Erst an den Inselenden gewinnt die Tideströmung an Bedeutung, um in den gewaltigen Tiefs — vermutlich auch bei Sturmfluten — die Brandungsströmung zu überdecken.



## IV. Küstenschutzmaßnahmen

## A. Geschichtliche Entwicklung

In Nordfriesland gehen die ältesten überlieferten Sturmflutkatastrophen in das frühe Mittelalter zurück (MÜLLER-FISCHER, 1938); sie übertrafen in ihren Zerstörungen teilweise die Holland-Sturmflut 1953 noch bei weitem.

Auf Sylt sicherte man sich ursprünglich gegen Sturmfluten, indem man die Siedlungen einige hundert Meter von der Küste entfernt anlegte. So bedeuteten Dünenabbrüche am Weststrand nur eine mittelbare Gefahr. Eine Karte von Westerland aus dem Jahre 1778 zeigt z. B., daß damals alle Häuser mindestens 250 m von den Dünen entfernt waren (Abb. 32). Durch die ständige Zunahme des Badebetriebs auf Sylt dehnte sich die Stadt Westerland jedoch weiter nach Westen aus, so daß heute bereits mehrstöckige massive Gebäude auf der Düne liegen (Abb. 33).

Während der Küstenschutz durch Dünenbepflanzung bis 1865 den Anliegergemeinden allein oblag, begann danach erstmalig der Staat Preußen, mit massiven Bauwerken in das Kräftespiel am Strand einzugreifen, um dem Küstenabbruch wirkungsvoller als bisher zu begegnen. Eine Beschreibung der Küstenschutzentwicklung auf Sylt wurde vom Verfasser an anderer Stelle (LAMPRECHT, 1958) gegeben; hier soll nachstehend nur eine zusammenfassende Darstellung folgen.

Wegen der guten Erfahrungen, die Preußen seit Jahrhunderten im Flußbau mit Buhnen gesammelt hatte (NEGER, 1932), wendete man dieses erprobte Bau-Element auch an der Sylter Küste an, denn auch hier galt es, ein abbrechendes Ufer zu schützen.

Die ältesten auf Sylt eingebauten Buhnen (1872) reichten etwa bis zur MTnw-Linie (heute gültiges MTnw für Westerland: — 1,07 m NN), wiesen einen flachen und breiten Querschnitt auf und wurden meistens aus vier Holzpfehlreihen mit dazwischengepackten Findlingen oder Betonquadern auf Buschunterlage hergestellt (Abb. 3). Da sich der gegenseitige Abstand von rund 500 m als zu groß erwies, errichtete man zwischen je zwei solchen „Hauptwerken“ je zwei leichtere Zwischenwerke. Bald zeigte es sich jedoch, daß wegen Bohrmuschelbefalls, Sandschliffs und vor allem wegen der zu kleinen Pfahllänge die Unterhaltungskosten zu hoch waren, so daß man die Suche nach einem anderen Baustoff aufnahm. Die nach anfänglichen Erfolgen seit 1927 in großer Zahl eingebrachten Buhnen aus Stahlspundwänden (Abb. 1) waren zwar billiger und ließen sich schneller herstellen; sie erwiesen sich jedoch als noch ungeeigneter, da nach einigen Jahren selbst die bis zu 12 mm starken Spundbohlen durch Sandschliff zerstört waren. Seit 1947 ist man zum Bau von Buhnen aus vorgespannten Betonpfählen übergegangen. Inzwischen sind auf der Strandstrecke von Westerland bis nördlich Wenningstedt 35 solche Buhnen hergestellt worden (Abb. 1). Darüber hinaus wurden besonders gefährdete Strandabschnitte mit Ufermauern und Deckwerken versehen.

Die Westerländer Uferschutzmauer geht in ihren Anfängen auf eine 1907 von privater Hand errichtete Schutzmauer vor dem auf der Düne liegenden „Hotel Miramar“ zurück, hat eine Länge von rund 660 m (Abb. 1) und liegt mit ihrer Oberkante auf + 6,15 m NN. Nördlich setzt sie sich in einem seit 1936 hergestellten rund 850 m langen Deckwerk aus Basaltpflaster fort, das eine Neigung von 1 : 4 aufweist (PFEIFFER, 1938). Ein 140 m langer Abschnitt wurde mit Betonplatten abgedeckt. Die nördlichen 200 m sind neuerdings in einer Asphalt-Basalt-Bauweise (Mastix-Eingußdecke) mit sehr rauher Oberfläche hergestellt worden (ZITSCHER, 1955). Die steile Mauer läßt bei Sturmfluten die Wellenenergie schlagartig freierwerden (Abb. 34), dadurch wird der Strand am Fuß der Mauer stark angegriffen und abgetragen; dagegen bewirkt das schräge und rauhe Deckwerk durch seine Bremswirkung eine allmähliche Energie-Abgabe (Abb. 35; Hann. Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau, 1953; LAMPRECHT, 1955 b).

Im Nordteil der Insel — am sogenannten Ellenbogen — wurde 1938 ebenfalls ein Basaltdeckwerk errichtet (LÜPKES und SIEMENS, 1940), das seine Entstehung an dieser Stelle jedoch im wesentlichen militärischen Gesichtspunkten verdankte und eine Länge von 2,24 km aufwies (Abb. 1). Infolge des Krieges unterließ der geplante Bau von strömungsabweisenden Buhnen, so daß dieses Deckwerk 1945 während einer Sturmflut beschädigt und seitdem weiter zerstört wurde (LAMPRECHT, 1958 und Abb. 36). Für die erforderliche Instandsetzung und Vervollständigung des vorgesehenen Schutzsystems fehlten damals die Voraussetzungen.

Neben den beschriebenen Baumaßnahmen zum Schutz der Insel wird auch heute noch die jahrhundertalte Methode des Dünenschutzes durch Strandhaferanpflanzungen angewendet. Eine mit Strandhafer oder zusätzlich mit „Buschzäunen“ (in den Sand gestecktes Gestrüpp) befestigte oder aufgehöhte Düne am Strand soll nicht den Sturmfluten trotzen, sondern die Brandung möglichst lange von den eigentlichen Dünen fernhalten. Es handelt sich hierbei also um eine „hinhaltende Verteidigung“.





Abb. 34  
Brecher vor der Strand-  
mauer Westerland  
bei Sturmflut  
Aufn.: LAMPRECHT, 16. 1. 1954



Abb. 35  
Auflaufende Welle wird  
durch raue Oberfläche  
stark gebremst (Rauh-  
deckwerk Westerland)  
(aus LAMPRECHT, 1955 b)



Abb. 36  
Zerstörungen am  
„Ellenbogen“-Deckwerk  
infolge Lee-Erosion  
Aufn.: LAMPRECHT, 1955



## B. Beurteilung der Sylter Küstenschutzmaßnahmen

### 1. Ansichten bis 1952

Im Schrifttum über Sylt und insbesondere im Archiv des Marschenbauamts Husum liegt eine größere Reihe von Arbeiten vor, die eine Behandlung der Sylter Küstenschutzmaßnahmen zum Inhalt haben. Im folgenden sollen die zusammengefaßten Ergebnisse genannt und kritisch betrachtet werden.

FÜLSCHER (1905) gelangt zu der Auffassung, daß die auf Sylt errichteten Buhnen bis 1905 keinen erkennbaren Nutzen gezeigt haben; die Ursache sieht er in der mangelhaften Unterhaltung und schlechten Eignung der verwendeten Baustoffe. Er schlägt Betonbuhnen vor, d. h. er ist grundsätzlich vom Nutzen der Buhnen am Sylter Weststrand überzeugt. Sein Hinweis auf die bisherigen Mißerfolge mit Buhnen gründet sich auf eine Auswertung von Lotungen und Strandvermessungen und ist daher als stichhaltig anzusehen. Sein Urteil über die grundsätzliche Wirkung von Buhnen auf Sylt trägt den Charakter einer Vermutung und muß entsprechend gewertet werden.

Die Denkschrift von LEU (1920) befaßt sich in erster Linie mit bautechnischen Fragen; es werden ausführliche Vorschläge zur Herstellung und Einbringung von Betonpfählen für Buhnen gemacht. Auch LEU vertritt die Ansicht, daß eine mangelhafte Wirkung der Sylter Buhnen nur bei schlechtem Bauzustand aufgetreten ist. Als Beweis für die günstige Wirkung der ältesten Buhnen sieht er die Tatsache an, daß auch noch weiterhin Buhnen gebaut wurden. Die zuletzt genannte Begründung hat keine Beweiskraft. Über die grundsätzliche Ansicht von LEU gilt auch das für FÜLSCHER Gesagte. Die praktischen Vorschläge für die Buhnenbaustelle zeugen von Sachkenntnis und Ideenreichtum, sind für funktionelle Fragen jedoch ohne Bedeutung.

Nach Beobachtungen von PFEIFFER (1920) zeigt sich die günstige Wirkung der Sylter Buhnen in der Ausbildung eines gleichmäßigen Strandes. PFEIFFER versucht, die Zusammenhänge zwischen Buhnenbau und Küstenrückgang graphisch darzustellen. Er faßt den mittleren Küstenrückgang größerer, mit Buhnen versehener Strecken zusammen und stellt ihm den Rückgang an ungeschützten Abschnitten gegenüber. Aus den Ergebnissen leitet er die günstige Wirkung der Buhnen ab. Diese Methode setzt einen an der gesamten Sylter Westküste etwa gleich großen Küstenrückgang voraus. Da die mittleren jährlichen Abbrüche an der Westküste zwischen weniger als 1 m und mehr als 4 m schwanken (Abb. 9), trifft diese Annahme nicht zu.

Die Denkschrift von SCHADE (1936) geht von einer ausführlichen Tabelle über den Küstenrückgang in den einzelnen Strandprofilen aus, wobei der Beobachtungszeitraum von 1883 bis 1935 in drei Abschnitte eingeteilt wird. SCHADE folgert aus einem Vergleich der Küstenrückgangswerte in Zeiträumen mit und ohne Buhnen, daß die alten Buhnen den Küstenrückgang weder verhindert noch verzögert haben. Auf Grund von Beobachtungen „finge“ eine Buhne an der Sylter Westküste um so mehr Sand, als sie den Querschnitt des Küstenlängsstromes einengt. Lange, undurchlässige Buhnen seien erforderlich. SCHADE mißt den Wellenkräften mehr Bedeutung zu als den Tidekräften. Die durch Messungen bestätigten Beobachtungen können als gesichert angesehen werden, die übrigen beruhen vorwiegend auf subjektiven Eindrücken. SCHADES Beurteilung der Bedeutung der Wellenkräfte hat sich als richtig erwiesen.

FISCHER (1938) geht bei seiner Untersuchung von einer Gegenüberstellung der Küstenveränderung vor und nach dem Beginn von Baumaßnahmen auf Sylt aus. Diese Methode ist um so zuverlässiger, als nur nachprüfbare Unterlagen benutzt werden und Beobachtungen eine Nebenrolle spielen. FISCHER vergleicht die Karten von 1793 (Karte der Königlich Dänischen Gesellschaft der Wissenschaften, Kopenhagen), von 1878 (Meßtischblätter) und von 1929 (Meßtischblätter) und folgert, daß im Bereich der Buhnenbauten an der Westküste (von Rantum im Süden bis um den Ellenbogen im Norden herum) der mittlere jährliche Abbruch vor Baubeginn größer war als nachher. Als Ursache gibt FISCHER die Buhnenwirkung an. Dieser Folgerung kann nicht zugestimmt werden, da sich nachweisen läßt, daß der Küstenabbruch auf Sylt vor 1878 infolge einer natürlichen Entwicklung größer war, als nach 1878 (LAMPRECHT, 1957).

Die Arbeit von M. PETERSEN (1938) vermittelt einen Einblick in die Planung, technische Ausführung und Wirkungsweise von Dünenschutzmaßnahmen durch Setzen von Halm (Strandhafer) und Buschzäunen. PETERSEN sieht den Sinn dieser beweglichen Verteidigungsmethode für die Westküste darin, daß bei normalen Wetterbedingungen Sandablagerungen am seeseitigen Dünenfuß herbeigeführt werden, damit bei Sturmfluten den Wellen Material „angeboten“ werden kann und die eigentliche Düne möglichst lange dem unmittelbaren Angriff der Brandung entzogen wird.

Die Denkschrift von HUNDT (1939) (vgl. den Aufsatz von HUNDT in diesem Heft) enthält nahezu ausschließlich Untersuchungsergebnisse über den Nordteil von Sylt (Ellenbogen-Gebiet) und geht nur am Rande auf die Frage der Buhnenwirkung im gesamten Inselgebiet ein. Eine Beeinflussung des Kü-



stenrückgangs durch Buhnen ist nach Ansicht von HUNDT nur dort zu erwarten, wo starke Uferlängsströmungen vorhanden sind. Diese Meinung gründet sich nur auf Beobachtungen; sie ist jedoch richtig, wie noch gezeigt wird.

Die Arbeit von LAMBERT (1939) bringt eine Zusammenfassung der bis 1939 auf Sylt eingebauten Buhnen und geht vorwiegend auf Probleme der Baupraxis ein; sie ist insofern bemerkenswert, als festgestellt wird, daß man auf Sylt bisher sein Augenmerk nur auf die Entwicklung von Buhnen legte, die bei Sturmflut standsicher sind, und nicht die Frage nach der Wirkung einer Buhne an sich stellte. Es wird außerdem die Schwierigkeit erwähnt, die Wirkung natürlicher und künstlicher Einflüsse zu trennen.

In dem Aufsatz über Erfahrungen mit Stahlbuhnen auf Sylt berichten LÜPKES und SIEMENS (1941) ausführlich über die bisher aufgetretenen Schäden und gelangen zu dem Schluß, daß diese Schäden durch Verwendung größerer Wandstärken und flacherer Spundbohlenprofile wesentlich vermindert werden können. Die Bauverwaltung sei auf Grund von Beobachtungen und der Erfahrung eindeutig zu dem Urteil gelangt, daß sich der Wert der Buhnen in einer erheblichen Verlangsamung des Küstenabbruchs gezeigt hätte. Ein zahlenmäßiger Nachweis könne noch nicht gebracht werden. Als Beweis für die positive Buhnenwirkung werden zwei Strand-Photos verwendet, die jedoch nicht als Beweismittel bewertet werden dürfen, da heute auf Grund systematischer Vermessungen feststeht, daß sich günstige und ungünstige Strandlagen sowohl an mit Buhnen geschützten als auch an ungeschützten Strandstrecken ausbilden (LAMPRECHT, 1955 b). Inzwischen hat die Zeit gelehrt, daß jede Art von Stahlbuhnen an der Westküste von Sylt ungeeignet ist, denn auch den Verbesserungsvorschlägen blieb der gewünschte Erfolg versagt.

RUHNKE (1950) beschränkt sich in seiner kritischen Betrachtung über Küstenschutzmaßnahmen auf Sylt auf massive Bauwerke, ohne systematische Beobachtungen angestellt zu haben. In einer Wirtschaftlichkeitsberechnung wird festgestellt, daß Betonbuhnen auf die Dauer die geringsten und Eisenbuhnen die höchsten Kosten erfordern. Er gelangt zu der Auffassung, daß Buhnen bei sorgfältiger Unterhaltung den Rückgang der Sylter Westküste erheblich verlangsamt haben, und schlägt vor, in Zukunft breite, durchlässige und flach geböschte Buhnen zu bauen. Auch RUHNKE beurteilt die Buhnenwirkung nach subjektiven Eindrücken; die Wirtschaftlichkeitsberechnung und der Hinweis auf flache Buhnen verdienen Beachtung.

In der Arbeit von LUX (1954) wird eine Untersuchung über die Möglichkeiten biologischer Dünenbau- und Dünenbefestigungsmaßnahmen auf Sylt beschrieben. LUX geht von Möglichkeiten und Grenzen einer Verbesserung der Lebensbedingungen des auf Sylt zum Anpflanzen benutzten „Halms“ (Strandhafer; *Ammophila arenaria*) aus und macht Vorschläge zur Verwendung des Silbergrases (*Corynephorus canescens*). Als Voraussetzung für einen wirkungsvollen biologischen Dünenschutz muß jedoch in jedem Falle eine Sandanlieferung vorhanden sein. Die Bedeutung der von Lux durchgeführten Untersuchungen liegt außer in der Behandlung des Strandhafer-Problems in dem Hinweis, daß die alleinige oder zusätzliche Verwendung anderer Pflanzen zu besseren Erfolgen im Dünenschutz führen kann.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Sylter Küstenschutzprobleme in einer großen Reihe von Arbeiten behandelt worden sind: Strandmauern und Deckwerke werden als zweckmäßig bezeichnet, da nach Anlage solcher Schutzwerke der Dünenabbruch aufhörte. Eine leichtere Art des Dünen schutzes bildet das Setzen von Strandhafer und Buschzäunen; diese Methode ist wegen ihrer Wirtschaftlichkeit für einen „beweglichen Küstenschutz“ von Bedeutung. Die Behandlung des Buhnenproblems erstreckt sich vorwiegend auf bautechnische Fragen; die funktionelle Wirkung wird im allgemeinen nur auf Grund zufälliger Beobachtungen beurteilt. In einigen Fällen kommen die Verfasser zu dem Schluß, daß eine Beeinflussung des Küstenrückgangs durch Buhnen bisher nicht erkennbar ist; in anderen Fällen wird das Gegenteil gefolgert. Ein Beweis der positiven Buhnenwirkung wird in keiner Arbeit geführt.

## 2. Bewertung der bisherigen Küstenschutzbauten auf Grund der Untersuchungen seit 1952

### a) Buhnen

Eine Beweisführung über den Nutzen der Buhnen auf dem Wege über Ursache und Wirkung ist heutzutage noch nicht möglich, da eine zahlenmäßige Trennung der künstlichen und

natürlichen Einflüsse im Strandgebiet nicht gelingt. Während eine Beurteilung auf Grund mehrfacher, zufälliger Beobachtungen des Strandbildes erhebliche Unsicherheiten in sich birgt, kann selbst eine tägliche Vermessung des Oberwasserstrandes bis zur MTnw-Linie zu Fehlschlüssen führen, wie sich auf Grund der Sylter Untersuchungen ergab (LAMPRECHT, 1957).

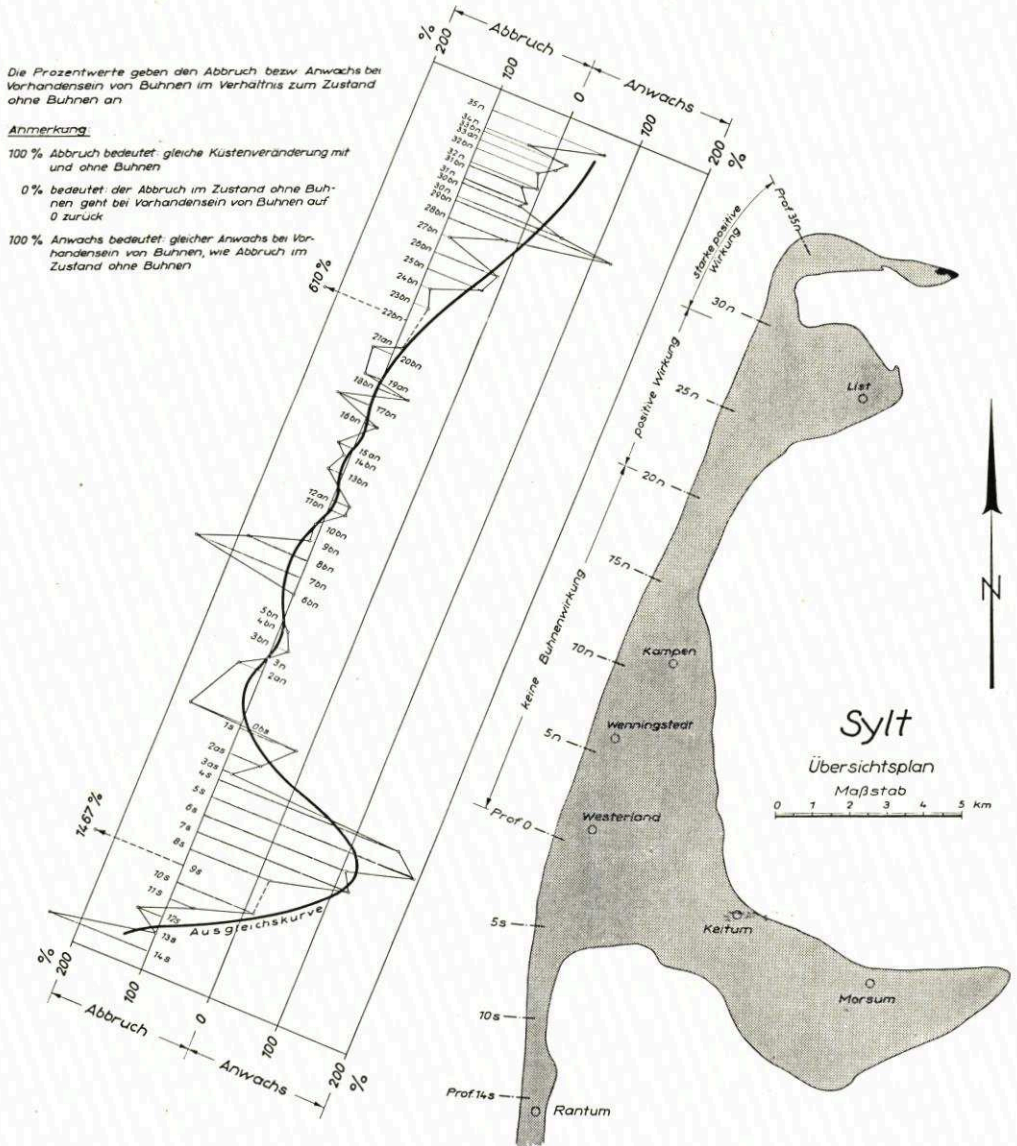


Abb. 37. Graphische Darstellung einer Korrelation zwischen dem Vorhandensein oder Fehlen von Buhnen und den zeitlich entsprechenden Küstenveränderungen von 1888 bis 1954 (aus LAMPRECHT, 1957)

Daher können vorläufig nur Untersuchungsmethoden erfolgreich sein, die systematische Beobachtungen, möglichst langjährige und umfangreiche Meßreihen, statistische Auswertungen und physikalische Deutungen umfassen.



Wegen der entscheidenden Bedeutung einer möglichst sicheren Beurteilung der Wirkung von Buhnen wurde daher eine Korrelation durchgeführt, in der für die letzten achtzig Jahre die mittleren jährlichen Küstenveränderungen in Zeiträumen ohne Buhnen denen in Zeiträumen mit Buhnen gegenübergestellt wurden. Dieses Verfahren erschien sinnvoll, da sich eine positive Buhnenwirkung in einer Verlangsamung des Küstenabbruchs äußern müßte und durch die zeitlich aufeinander folgende Anwendung mehrerer verschiedener Buhnenbauweisen jeder Küstenpunkt, an dem mehr als eine Buhne eingebaut wurde (man errichtete neue Buhnen möglichst an der gleichen Stelle wie die alten), Zeitabschnitte aufweist, in denen Buhnen vorhanden waren und solche, in denen sie fehlten; zudem verlief der jährliche Rückgang der Sylter Westküste in dem genannten Zeitraum insgesamt etwa gleichmäßig.

Aus diesem Grunde wurde für jedes Profil ein Zeitplan mit Bau- und Zerstörungsjahr der Buhnen und mit den entsprechenden Küstenveränderungen aufgestellt (LAMPRECHT, 1956 a). Die Ausgleichskurve der Einzelwerte in Abbildung 37 gibt für jeden Küstenpunkt an, in welchem Maße eine Verringerung des Küstenabbruchs bei Vorhandensein von Buhnen eingetreten ist. Danach ist nur im Küstenabschnitt nördlich von Klappholtal (Profil 20 n) der Rückgang in Zeiträumen mit Buhnen vermindert und zum Teil verhindert worden; im 10 km langen Abschnitt von Westerland bis Klappholtal trat keine Verminderung ein, d. h. ein Nutzen der Buhnen ist hier nicht zu erkennen. Der Verlauf der Kurve südlich von Westerland darf nicht gewertet werden, da hier in Zeiträumen mit Buhnen die Küstenlinie zwar langsamer zurückwich bzw. sogar in Richtung See vordrang, diese Tatsache jedoch auf eine hier 1870 vorhandene Einbuchtung zurückgeführt werden muß, die sich infolge der Ausgleichstendenz an der Sylter Küste allmählich auffüllte.

Der mittlere Teil von Sylt (etwa von Klappholtal bis Rantum) steht vorwiegend unter Brandungseinfluß; Tideströmungen haben nur untergeordnete Bedeutung. Hier konnte der Uferrückgang durch Buhnen der bisher angewendeten Bauweise nicht erkennbar vermindert werden.

Der Nordteil von Sylt gehört hydrographisch zum Einflußgebiet des Lister Tiefs. Die Wirksamkeit der Buhnen hat hier nach Norden in etwa dem gleichen Maße zugenommen wie der Einfluß der Strömungen des Lister Tiefs, d. h. es ist mit Hilfe der Buhnen gelungen, die Tideströmungen vom Ufer abzudrängen und damit den Abbruch zu verzögern. Für den Südteil von Sylt kann mit ähnlichen Verhältnissen gerechnet werden.

#### b) Deckwerke und Strandmauern

Ein Dünendeckwerk oder eine Strandmauer schützen nur die Stranddüne, d. h. der Schutz erstreckt sich lediglich auf die landseitige Begrenzung des im Abbruch liegenden Gebietes oberhalb der Uferlinie. Da nach wie vor ein seitlicher Sandabtransport am Strand stattfindet, wird sich der Vorstrand bei einer negativen Sandbilanz in zunehmendem Maße aufsteilen und vertiefen, bis schließlich die Standsicherheit der Schutzbauten nicht mehr vorhanden ist, bzw. die Kosten für ihre Unterhaltung zu hoch werden.

Die Schäden an den Fuß-Sicherungen der Strandmauern und Deckwerke entstanden meist durch Sandschliff (Zerstörung der seeseitigen Stahlspundwand) oder freistehende Spundwände infolge Sandabtransports. Eine freistehende Spundwand (vor Sylt bis etwa 2 m; vgl. LAMPRECHT, 1954 b) ist deswegen besonders gefährlich, weil sie zu weiterer Strandvertiefung Anlaß gibt (VOLLBRECHT, 1955) und weil die Stoßbelastung durch Wellen den gepflasterten Verband des Deckwerks lockert, so daß Einbrüche entstehen können (Abb. 36 und 38).

Im Vergleich zu den Schäden am Bauwerksfuß erreichten die an der Wellen-Leeseite der Strandmauern und Deckwerke auftretenden Abbrüche ein bedeutend größeres Ausmaß.





Abb. 38  
Zerstörung der Strand-  
mauer Westerland 1921  
(aus „Akten“)



Abb. 39  
Dünenabbruch am Lee-Ende  
des Deckwerks Westerland  
(im Mittelgrund: abgestürzte  
Seenot-Stelle)

Aufn.: LAMPRECHT, Jan. 1954

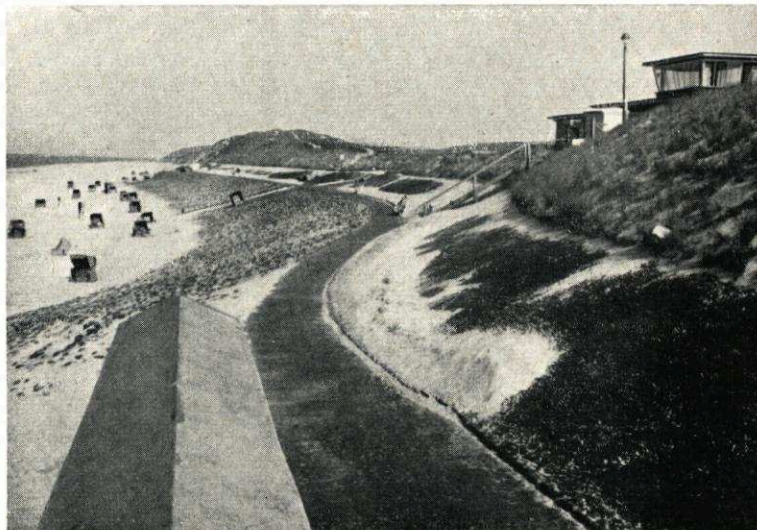


Abb. 40  
Rauhdeckwerk Wester-  
land in Asphalt-  
Basaltbauweise (gleicher  
Aufnahme-Standpunkt  
wie Abb. 39)

Aufn.: LAMPRECHT, Aug. 1956



Die Abbruchkante bildete sich in diesen Fällen der Lee-Erosion im Grundriß stets stromlinienförmig aus (Abb. 39 und 40 sowie LAMPRECHT, 1958); die Erscheinung kann an allen Deckwerken und Strandmauern beobachtet werden (Borkum, Norderney, Goeree-Overflakkee u. a.). Eine erschöpfende Analyse der hier wirkenden Kräfte ist zur Zeit noch nicht möglich; es gilt jedoch als sicher, daß die Lee-Erosion hinter Dünendeckwerken sowohl auf die durch das Deckwerk verhinderte Sandzufuhr als auch auf die „Kolk“-Wirkung zurückgeführt werden muß, die durch die vor dem Deckwerk oder der Mauer angestauten und seitlich abfließenden Wassermassen entsteht (vgl. auch HENSEN, 1957).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß ein möglichst flaches und möglichst rauhes Deckwerk mit einer möglichst tief hinabreichenden Fußsicherung die günstigste Wirkung hat. Die Erosion in Lee von Deckwerken und Mauern wird sich nur vermindern lassen, wenn es gelingt, den Übergang vom starren Bauwerk zum natürlichen Strand



Abb. 41  
Dünendurchbruch auf  
etwa 50 m Breite  
südlich von Hörnum  
Aufn.: LAMPRECHT, Jan. 1954

den angreifenden Kräften entsprechend auszubilden. Die zu Lasten der verhinderten Sandzufuhr gehende Komponente dieser Lee-Erosion kann allerdings durch Bauwerke nicht verhindert, sondern nur örtlich verschoben werden.

Als Versuche zur Verminderung der Lee-Erosion durch Baumaßnahmen sind das Übergangsbauwerk in Norderney (LAMPRECHT, 1956 a) und das Brems- und Leitwerk vor Westerland (LAMPRECHT, 1958) aufzufassen, die beide aus doppelten Holzpfahlreihen mit dazwischengepackten Faschinen und Betonbrocken hergestellt sind; während die Linienführung auf Norderney in Verlängerung des Deckwerksfußes verläuft (wichtigste Funktion: Wellenbrecher und Leitwerk), weist die Westerländer Konstruktion zusätzlich einen quer zum Deckwerk verlaufenden Riegel auf, der die vom Deckwerksende herabströmenden Wassermassen bremsen (Bremswerk) und dadurch die Kolkwirkung vermindern soll. Die bisherige Wirkung auf Norderney und auf Sylt ist positiv; ein endgültiges Urteil über die Bewährung kann jedoch noch nicht gefällt werden.

#### c) Halmpflanzungen

Bei der bereits erwähnten Methode der Halmpflanzung und des Setzens von Buschzäunen steht der Aufwand in einem günstigen Verhältnis zum Erfolg; aus diesem Grunde wird dieses bewährte Verfahren auch heute noch in starkem Maße angewendet.

Auf Sylt gelang es mehrfach, bei günstigen Sandflugbedingungen nach starken Dünenabbrüchen durch Halmpflanzung eine „Vordüne“ (flach geneigte Sandansammlung am see-seitigen Dünenfuß) aufzuziehen (Abb. 7 und 8), so daß das Strandprofil den bei Sturmfluten heranbrechenden Wellen möglichst wenig Widerstand entgegensetzte, d. h. lange standhielt.

Ein während der Sturmflut am 16. 1. 1854 südlich von Hörnum aufgetretener Dünen-durchbruch von rund 50 m Breite (Abb. 41) konnte innerhalb eines Sommers bereits wieder mit einem etwa 2 m hohen Sandwall abgeriegelt werden, der lediglich durch die Verwendung von Halm und Buschzäunen entstand.

Bei der Bepflanzung einer Stranddüne ist zu prüfen, ob die Sandablagerung am Luv- oder am Lee-Hang erwünscht ist. Wenn bei einer Sandküste ein langsamer, stetiger Rückgang in Kauf genommen werden kann, ist ein Sandfang am Lee-Hang zweckmäßig (Sylter Methode bis etwa 1850; heute z. T. an der Ostseeküste üblich), damit sich hinter der alten, durch Sturmfluten allmählich zerstörten Düne eine neue bilden kann. Bei dieser Methode bleibt die Strandneigung etwa konstant, so daß auch die Strandbreite nicht abnimmt. Ist man jedoch gezwungen, den Dünenrückgang möglichst stark zu verzögern, so läßt sich außer einer Festlegung der Düne durch Bewuchs eine Bepflanzung des Luv-Hanges nicht umgehen. Auf Sylt ist normalerweise die gesamte Düne dicht bewachsen; nach jeder Sturmflut wird jedoch ein erneutes Bepflanzen des Dünenfußes am Luv-Hang notwendig.

### C. Gedanken über zukünftige Maßnahmen

In den letzten hundert Jahren hat durch den aufkommenden Seebäderverkehr besonders auf den Inseln die Besiedlung ständig zugenommen. Damit wuchsen auch die Sicherheitsforderungen.

Tabelle 8  
Kosten (abgerundet) für Küstenschutzwerke und -untersuchungen auf Sylt seit 1870  
(ohne Unterhaltungskosten)

Baujahr	Baukosten in Mio Goldmark, RM, DM						Untersuchungen		
	Buhnen	Deckwerke u. Strandmauer	Dämme und Deiche	insgesamt (2+3+4)	angenommen. Weizenpreis in jeweiliger Mark/Ztr.	Mio Ztr. Wei- zen (Gegen- wert v. Sp. 5)	heutiger Wert d. Baukosten in Mio DM	in Mio RM, DM	heutiger Wert in Mio DM
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1878—99	3,0			3,0	10,—	0,300	7,500		
1907—23	0,1	2,0		2,1	12,—	0,175	4,375		
1924—27			14,2	14,2	15,—	0,947	23,675		
1928—36	1,5			1,5	15,—	0,100	2,500		
1937—39	2,5	7,5	6,2	16,2	12,—	1,350	33,750	0,4	0,833
1940—46		0,5		0,5	20,—	0,025	0,625		
1947—51	1,33		0,83	2,16	25,—	0,0864	2,160		
1952—55	1,4	1,0		2,4	25,—	0,096	2,400	0,3	0,300
				<u>42,06</u>			<u>76,985</u>	<u>0,7</u>	<u>1,33</u>
1878—1955	für Halmpflanzungen und Buschzäune*)						20,000		

\*) Nach Schätzung des Landesamts für Wasserwirtschaft, Kiel



Eine Übersicht über die seit 1870 für den Sylter Küstenschutz verausgabten Mittel wird in Tabelle 8 und Abbildung 42 gegeben. Sowohl die tatsächlichen Kosten in der jeweils gültigen Währung als auch der heutige Wert der Baukosten sind ermittelt worden. Zu dem Wert der Baukosten von rund 77 Mio. DM kommen etwa 20 Mio. DM für Halmpflanzungen und Buschzäune hinzu.

Da das Beispiel Sylt für viele spricht, ist es angesichts der ständig steiler ansteigenden Kosten-Kurve nur verständlich, daß die Forderungen nach umfassenden und systematischen

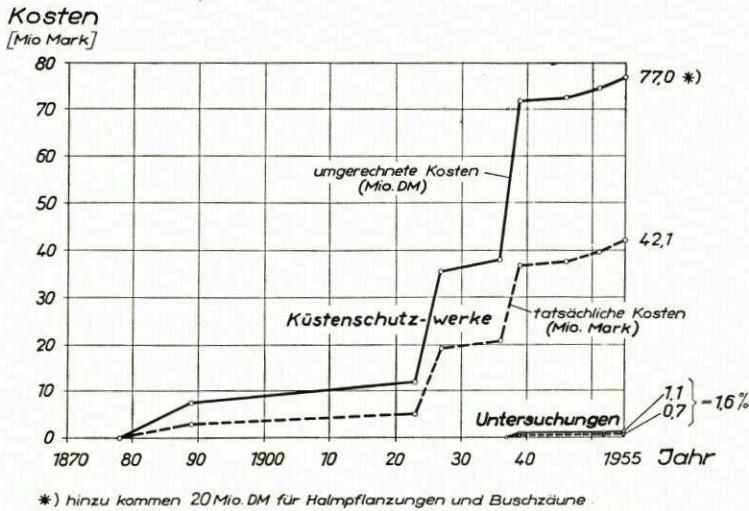


Abb. 42. Kosten für Küstenschutzwerke und -untersuchungen auf Sylt (außer den in der jeweils gültigen Währung aufgetretenen Kosten sind die auf DM umgerechneten Kosten angegeben)

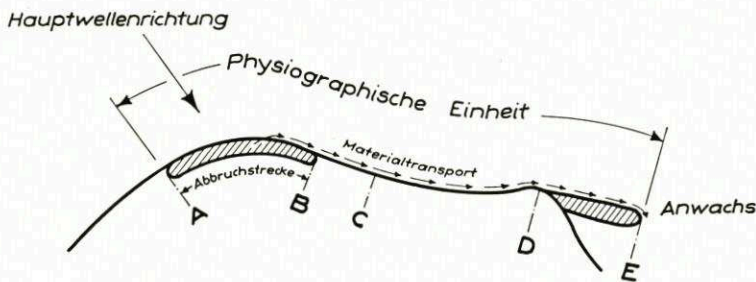


Abb. 43. Schematisches Beispiel einer Physiographischen Einheit

Voruntersuchungen immer nachdrücklicher erhoben wurden. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Untersuchungen des BEACH EROSION BOARD in Amerika hingewiesen, die — durch den letzten Krieg veranlaßt — mit einem für unsere Begriffe ungeheuren Aufwand betrieben wurden. Aber auch die Bemühungen der letzten zwei bis drei Jahrzehnte in Deutschland, Frankreich, Holland, England und Italien haben zum Teil beachtliche Erfolge gezeitigt, so daß die praktische Bedeutung von hydrologischen Forschungsarbeiten an den Seeküsten heutzutage allgemein anerkannt wird (PETERSEN, 1952; KIRSCHMER, 1952; HENSEN, 1954; GAYE, 1955; GRIESSEIER-VOLBRECHT, 1955; LORENZEN, 1955 u. a.).

Der Wert von Voruntersuchungen tritt besonders deutlich in Erscheinung, wenn man an die dafür verhältnismäßig geringen Kosten denkt (vgl. Abb. 42) und sich ferner die zahlreichen Fälle vor Augen führt, wo durch Voruntersuchungen erhebliche Mittel gespart werden konnten, oder jene Fälle, bei denen infolge fehlender oder unzureichender Entwurfsgrundlagen Millionenbeträge nutzlos verbaut wurden (vgl. auch GAYE, 1955). Von einem Verschulden der verantwortlichen Stellen kann hier jedoch nicht die Rede sein, da die Bedeutung von Forschungsarbeiten erst nach und nach erkannt wurde und die erforderlichen Untersuchungsmethoden und -geräte erst entwickelt werden mußten.

Die im Dienste des Küstenschutzes durchgeführten Untersuchungen müssen auf eine möglichst umfassende Kenntnis des Kräftespiels im Vorstrandgebiet (Unterwasserstrand) und am Strand hinzielen. Die Folgen eines künstlichen Eingriffs in dieses Kräftespiel werden sich um so sicherer voraussagen lassen, je besser die natürlichen Verhältnisse bekannt sind.

Als Hilfsmittel für die Bearbeitung von Küstenschutzproblemen hat sich der Begriff der „Physiographischen Einheit“ eingebürgert (vgl. auch WYRTKI, 1953); darunter soll im folgenden eine Küstenstrecke verstanden werden, an der die Materialbilanz ausgeglichen ist; d. h. sie umfaßt Abbruchstrecken und solche Strecken, an denen sämtliches Abbruchmaterial wieder anlandet. Sind die Grenzen einer Physiographischen Einheit bekannt, so lassen sich die Folgen von künstlichen Eingriffen unschwer übersehen.

Im Beispiel der Abbildung 43 möge die Strecke A—B einer sandigen Dünen-Küste im Abbruch liegen und das Abbruchmaterial zur Verlängerung der Nehrung D—E verbraucht werden. Die Tidenströmung soll vernachlässigbar klein und die Hauptwellenrichtung durch den Pfeil gekennzeichnet sein. Die resultierende Materialwanderung verläuft in der Weise, daß durch direkte und indirekte (z. B. Brandungsströmung) Wellenkräfte im Bereich A—B Material aufgenommen und am Strand entlang verfrachtet wird. Im Bereich B—D möge die ans Ufer gelangende Wellenenergie kleiner als im Bereich A—B (Konzentration der Wellenorthogonalen) sein, so daß diese Energie zum Weitertransport des aus A—B gelieferten Materials verbraucht wird. Da die Küste ursprünglich bei D scharf zurücksprang, setzte hier infolge starker Querschnittsverbreiterung und damit Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit eine Nehrungsbildung ein; hinter E werden keine Wellenkräfte zur Erzeugung eines neuen Strandversatzes mehr frei, so daß der Materialtransport hier endet.

Zur Verhinderung eines Küstenabbruchs im Abschnitt A—B kommen für die in Abbildung 43 dargestellten Verhältnisse vier grundsätzliche Methoden in Frage:

1. Vernichtung der Wellenenergie bereits seewärts des am Ufer liegenden Erosions-(Abrasions-)streifens,
2. Verhinderung einer Erosion durch Befestigung des Erosionsstreifens,
3. Verhinderung eines Materialabtransports durch Festhalten des Sandes,
4. künstliche Sandzufuhr.

An Hand einiger Beispiele soll im folgenden die Wirkung von Eingriffen durch Bauwerke in dieses Kräftespiel besprochen werden.

Zu 1.: Eine Vernichtung der Wellenenergie im tieferen Wasser vor der Strecke A—B (z. B. durch einen Wellenbrecher) würde am Strand und am Vorstrand (Unterwasserstrand) den Abbruch aufhalten oder sogar in einen Anwachs verwandeln (Abb. 44). Dadurch würde jedoch eine Materiallieferung in den Abschnitt B—D unterbunden, so daß die hier ans Ufer gelangende Wellenenergie nun nicht mehr für den Materialtransport verbraucht wird, sondern als Erosionskraft in Erscheinung tritt.

Die Erosion wird im Abschnitt B—C am stärksten sein (jedoch schwächer als vorher in A—B) und bis zu derjenigen Stelle abnehmen, an welcher der Materialstrom gerade so groß ist, daß sich wieder sämtliche freiwerdende Wellenenergie in Transportkräfte umsetzt. Von dieser Stelle ab hört die Erosion auf; liegt die Stelle vor (luvseitig) dem Punkt E, so verlängert sich die Nehrung weiterhin.



Zu 2.: Die Erosion und die Sandwanderung in der Strecke A—B sind eine Funktion der in diesem Abschnitt freiwerdenden Wellenenergie, d. h. sie gehen im wesentlichen auf die gleiche Ursache zurück. Aus diesem Grunde wird jeder Eingriff, der einem der beiden Faktoren gelten soll, im allgemeinen auch den anderen beeinflussen. Eine Befestigung und künstliche Aufrauhung des Erosionsstreifens wird sowohl eine Verzehrerung der Wellenenergie und dadurch eine Verminderung der Erosion als auch eine Verringerung der Sandwanderung bewirken. Eine Befestigung des Vorstrandes (z. B. mit Senkfashchinen, Steinpackungen oder großen Asphaltmatten) im Gebiet A—B

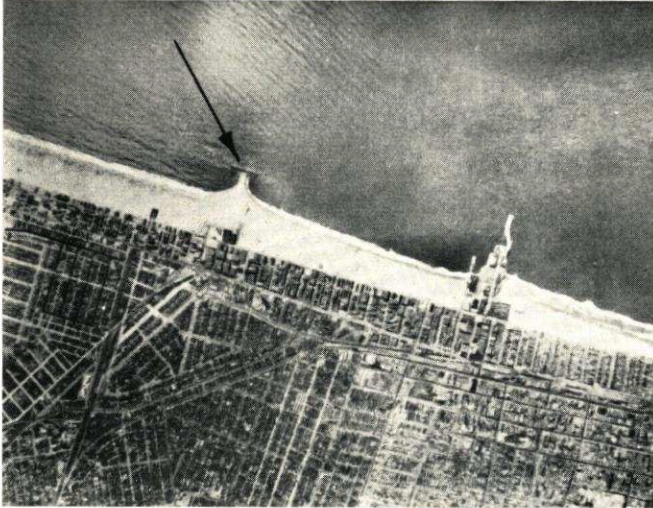


Abb. 44  
Starke Sandablagerung  
hinter (leewärts) einem  
Wellenbrecher in  
Venice-California  
(aus BEACH EROSION  
BOARD, 1954)

würde die gleiche Wirkung wie ein Wellenbrecher zeigen: Im Abschnitt A—B Verhinderung weiterer Erosion, im Abschnitt B—D jedoch Abbrüche (schwächer als vorher in A—B). Wenn nur die Dünen durch ein Deckwerk geschützt werden, hält die Erosion am Strand und Vorstrand (Unterwasserstrand) weiter an, d. h. die Neigung des gesamten Strandes wird steiler. Beim Bau eines glatten Deckwerks (z. B. Beton) wird durch seine Leitwirkung der Uferlängsstrom in Strandnähe verstärkt, so daß die Erosion am Lee-Ende (Strecke B—C) größer ist als vorher im Abschnitt A—B. Bemerkenswert ist, daß bei Sturmflut die Küstenabbrüche unmittelbar hinter dem Lee-Ende von Deckwerken und Uferschutzmauern besonders stark sind und z. B. die Erosion in Lee von Bühnen erheblich übertreffen.

Im Abschnitt A—B wird also durch ein Deckwerk der Dünenrückgang verhindert; diese Wirkung ist jedoch nur so lange vorhanden, bis sich der Strand so vertieft hat, daß sich das Deckwerk nicht mehr halten läßt.

Die Errichtung von Bühnen im Abschnitt A—B ist eine Maßnahme zum Schutz des Strandes und Vorstrandes, die bei den hier geschilderten Verhältnissen in der Praxis mehrfach ergriffen wurde. Man rechnete in solchen Fällen damit, daß die transportierenden und erodierenden Längsströmungen durch Bühnen von der Küste abgedrängt würden. Bisher ist jedoch kein Fall bekannt geworden, in dem ein in erster Linie durch Wellenwirkung (einschließlich Brandungsströmung) verursachter Küstenabbruch durch Bühnen entscheidend beeinflusst wurde (vgl. auch MAGENS-WYRTKI-RODEN, 1954; KRAMER-HOMEIER, 1955; LORENZEN, 1955).

Eine Begründung für diesen Sachverhalt kann zur Zeit nur auf dem Wege einer physikalischen Deutung gegeben werden (vgl. nächster Abschnitt), da eine vollständige meßtechnische Erfassung der Brandungsvorgänge in den Bühnenfeldern bis heute noch nicht gelungen ist.

Zu 3.: Viele im Dienste des Küstenschutzes angestellte Überlegungen gehen davon aus, daß man den aus einer Abbruchstrecke vorhandenen Sand durch geeignete Maßnahmen festhalten müsse, um einen Küstenrückgang zu verhindern.

Das würde allerdings im vorliegenden Beispiel zur Folge haben, daß die Sandanlieferung in den Abschnitt B—E vermindert wird oder unterbleibt und sich nunmehr hier Abbrüche einstellen.

Bei der Suche nach baupraktischen Möglichkeiten zum Sandfang wird gelegentlich das Beispiel einer Wand oder eines Zaunes angeführt, wie man sie mit Erfolg zum Schneefang oder zum



Sandfang in den Dünen benutzt und daraus gefolgert, daß eine große Buhne am Lee-Ende der Abbruchstrecke (hier bei Punkt B) das erodierte Material wieder fangen müsse.

Bei einem Schnee- oder Buschzaun lagert sich das Material aber hinter dem Zaun (d. h. in Lee) ab, während bei einer Buhne an einer Brandungsküste die Ablagerung vor derselben (d. h. in Luv) stattfindet und hinter ihr erodiert wird; die Bewegungsvorgänge verlaufen also nicht gleichartig.

Das gilt auch für ein Buhnensystem an einer sandigen Küste. Die Wirkungsweise einer Flußbuhne (Ablagerung in Lee) darf nicht mit der einer Seebuhne an einer Brandungsküste (Ablagerung in Luv und Erosion in Lee) gleichgesetzt werden.

Bei der Beurteilung der Bewegungsvorgänge in einem Buhnensystem muß von folgenden Überlegungen ausgegangen werden:

Es ist bekannt (BEACH EROSION BOARD, 1954; GRIESSEIER-VOLLBRECHT, 1954; MAGENS-WYRTKIRODEN, 1954; VOLLBRECHT, 1954), daß sich die Oberwasser- und Unterwasserstrandneigung an jeder unbefestigten Küstenstrecke so einstellt, daß sie sich mit den angreifenden Wellen- und Strömungskräften im „Gleichgewicht“ befindet. Da die Angriffskräfte wetterbedingt sind, d. h. stark schwanken können, muß sich der Strand von Fall zu Fall den neuen Bedingungen anpassen.

Befestigt man nun einen Abschnitt einer Brandungsküste mit einem Buhnensystem, so verändert man den ursprünglichen Zustand in der Weise, daß sich innerhalb der Bühnenfelder eine im Mittel schwächere Neigung des Strandes dadurch ausbilden kann, daß sich nunmehr ein Teil des ursprünglich küstenparallel abwandernden Sandes vor den Bühnen (in Luv) abgelagert. In Lee der Buhne wird jedoch erodiert. Die sandfangende Wirkung des Buhnensystems erreicht ihr Optimum nur bei einer bestimmten Wetterlage.

Hand in Hand mit der schwächeren Vorstrandneigung in den Bühnenfeldern geht jedoch eine Aufsteilung des Vorstrandgebietes vor sich, das seewärts an die Bühnenstreichlinie (gedachte Verbindungslinie der Bühnenköpfe) grenzt. Die angreifenden Kräfte werden hier nicht verändert, sondern bleiben so wie bisher bestehen. Daher muß in einem Strandquerschnitt die Verbindungslinie des unveränderten tiefen Vorstrandgebietes zu dem nunmehr erhöhten Gebiet in der Nähe der Bühnenstreichlinie steiler verlaufen. Dieser Zustand des Vorstrandes ist insofern labil, als jede Änderung der Wetterlage auch eine Änderung des Strandes bewirkt, und eine Sturmflut demzufolge durchaus in der Lage ist, eine unter Umständen in Monaten aufgebaute „gute“ Strandlage in wenigen Stunden in das Gegenteil zu verwandeln und entsprechende Schäden anzurichten. Daraus muß der Schluß gezogen werden, daß ein Buhnensystem vor einer im Abbruch liegenden Brandungsküste auf die Dauer den Küstenrückgang nicht entscheidend behindern kann.

Eine dauernde Sicherung des Strandes im Abschnitt A—B wird nur mit flächenhaft (d. h. quer und längs zum Strand) wirkenden Baumaßnahmen zu erreichen sein, die dem pulsierenden und alternierenden Charakter der Wellen und der Brandungsströmung und den verschiedenen Wetterlagen wesentlich besser Rechnung tragen, als es eine linienhafte Verteidigung durch eine oder mehrere Bühnen vermag.

Zu 4.: Eine künstliche Sandzufuhr in Abschnitt A—B — etwa in Form einer Sandaufspülung — (vgl. LAMPRECHT, 1957), würde zur Folge haben, daß ein Teil oder die gesamte im Abschnitt A—B freiwerdende Wellenenergie nunmehr für die Aufnahme und den Transport des aufgespülten Sandes verbraucht wird; d. h. die ursprüngliche Erosion wird so lange vermindert oder verhindert, bis der zugefügte Sand fortgeräumt ist.

Mit der Erläuterung der Physiographischen Einheit und den genannten Beispielen sollte eine schematische Übersicht über das Kräftespiel in der Brandungszone gegeben werden.

Physiographische Einheiten sind in der Natur nur selten anzutreffen; auch Sylt stellt keine derartige Physiographische Einheit dar, sondern weist eindeutig eine negative Sandbilanz auf. Das Beispiel der Abbildung 43 macht deutlich, daß bei der Behandlung von Küstenschutzfragen stets von der Sandbilanz auszugehen ist.

In einem Gebiet mit negativer Sandbilanz kann durch geeignete Maßnahmen ein Küstenrückgang verringert werden; bei Zulieferung von Sand aus Nachbargebieten ist es unter Umständen sogar möglich, eine negative in eine positive Bilanz zu verwandeln. In jedem Falle wird aber ein Aufhalten des Küstenrückgangs an einer bestimmten Strecke eine Erosion in Lee dieses Gebietes nach sich ziehen. In einem



Küstengebiet mit positiver Sandbilanz sind Küstenschutzwerke nicht erforderlich.

Die besondere Problematik des Sylter Küstenschutzes ist darin zu sehen, daß heute die Siedlungen vor allem im Mittelabschnitt bis unmittelbar an und zum Teil auf die Dünen reichen, so daß man hier unbedingt zu einer starren und daher massiven Verteidigung gezwungen ist. Gelegentlich wird die Frage gestellt: Was würde geschehen, wenn man die Sylter Westküste sich selbst überläßt? Wegen des spekulativen Charakters einer Antwort auf diese Frage soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden.

Eine zweite Frage, die ebenfalls nicht selten gestellt wird, ist die nach der Rentabilität von Küstenschutzmaßnahmen überhaupt.

Es lassen sich Beispiele anführen, bei denen die aufgewendeten Kosten für den Küstenschutz erheblich über dem Wert des unmittelbar zu schützenden Objekts liegen. Man wird der hier vorliegenden Problematik jedoch nur gerecht, wenn man auch die mittelbaren Folgen von Schutzmaßnahmen berücksichtigt. Die Wirkung einer Insel als Bollwerk für das dahinterliegende Festland wird zwar gelegentlich überschätzt. Es steht jedoch fest, daß eine Insel wie Sylt bei Sturmfluten die Energie der größeren Nordseewellen vernichtet, so daß an die dahinterliegende Festlandküste nur die über dem Watt entstandenen Windwellen gelangen. Aus diesem Grunde genügen am Festland die heute üblichen Deiche.

Der Sylter Küstenschutz ist also nicht nur eine lokale Angelegenheit, sondern muß auch von einer höheren Warte aus gesehen werden.

Für die zukünftige Sicherung der Sylter Siedlungen und der Insel selbst werden nach den heute bekannten Erfahrungen und Zusammenhängen an einer offenen Abbruchküste im allgemeinen und dem Kräftespiel vor Sylt im besonderen folgende Maßnahmen empfohlen:

1. Die strikte Einhaltung einer mindestens 100 m breiten bebauungsfreien Zone am Ufer, gerechnet von der Dünen- bzw. Steiluferoberkante an.
2. An der gesamten Küste eine umfassende Anlage von Halmpflanzungen und Buschzäunen zur Ausbildung eines möglichst flachen Dünenhanges.
3. Der Nordteil der Insel etwa ab Klappholtal und vermutlich der Südteil etwa ab Puan-Klent können wirkungsvoll durch Buhnen geschützt werden, wenn zwingende örtliche Gründe dafür vorliegen. In einem solchen Falle werden abgeflachte und breite Buhnen für wirkungsvoller gehalten als die bisher verwendeten, steilwandigen Pfahlbuhnen.
4. An der mittleren Küstenstrecke von Rantum bis Klappholtal haben Buhnen der bisherigen Bauweise den Küstenrückgang nicht aufhalten können.

Durch jede der folgenden, nach ihrer Wirksamkeit geordneten Baumaßnahmen wird in diesem Küstenabschnitt ein Verlangsamen bzw. Aufhalten des Uferrückgangs zu erzielen sein:

- a) Durch flächenhaften Küstenschutz, d.h. durch die Befestigung und Aufrauhung des Unterwasserstrandes etwa mit besonders haltbaren Senkfaschinen, Asphaltnetzen oder ähnlichen rauen und schweren Bau-Elementen; dabei könnten zunächst die bestehenden Buhnen als Stabilisierungsrippen des Befestigungssystems ausgebaut werden. Erfahrungen mit einem flächenhaften Küstenschutz an Küsten mit starken Brandungsangriffen sind bisher nicht bekannt geworden.

In Holland wurden jedoch in mehreren Fällen mit Steinen beschwerte Faschinenteppeiche bis zu einer Größe von rund  $20 \times 35$  m (v. VEEN, 1950) und große Asphaltmatten (Vortrag von H. A. FERGUSON, Den Haag 1952) zum Schutz gegen Erosion durch Strömung eingebaut und haben gute Erfolge gezeitigt.



- b) Durch Wellenbrecher in rund 400 m Uferabstand (Abb. 44) außerhalb des Sandriffs; von den bisher bekannten Typen (massiv, schwimmend, pneumatisch; vgl. LAMPRECHT, 1957) dürfte nur ein massiver Wellenbrecher in Frage kommen, etwa in Form von Beton-Senkkästen wie die bei der neuen Westmole auf Helgoland oder einer vergossenen oder mit einer Tetrapodenschicht überdeckten Steinschüttung auf Faschinen.
  - c) Durch ein flach geneigtes und rauhes Uferdeckwerk.
  - d) Durch Sandaufspülung am Strand bis etwa zur — 3 m NN-Linie. Die Aufspülung hätte eine Strandverbreiterung zur Folge und käme daher den Interessen der Badeverwaltung sehr entgegen; sie müßte jedoch nach verhältnismäßig kurzer Zeit wiederholt werden.
5. An der Sylter Ostküste könnten örtlich begrenzte stärkere Abbrüche durch kräftige Lahnungen verhindert werden.
- Welcher der genannten Methoden der Vorzug gebührt und auf welche Weise die dann auftretenden konstruktiven Probleme am glücklichsten gelöst werden können, wird Gegenstand weiterer — und nicht nur ingenieurmäßiger — Überlegungen sein müssen.

## V. Zusammenfassung

Die wichtigsten Untersuchungsarbeiten und -ergebnisse der von 1952 bis 1956 in Westerland/Sylt stationierten „Vorarbeitenstelle Sylt“ werden erläutert.

Die Untersuchungen gingen von der Fragestellung aus:

1. In welcher Weise hat sich Sylt verändert?
2. Welches sind die dafür maßgeblichen Naturkräfte und wie wirken sie?
3. Wie ist die Wirkungsweise der bisherigen Küstenschutzmaßnahmen auf Sylt zu beurteilen und welche Empfehlungen können für die Zukunft gegeben werden?

Die langfristigen und täglichen Veränderungen der Küste und des Strandes wurden durch Vermessungen und Lotungen festgestellt. Die angewendeten Methoden, Geräte und die Meßfehler sind angegeben. Die Auswertung der Messungen zeigte, daß die Sylter Westküste im Mittel rund 1 m/Jahr zurückweicht, während sich die Insel nach Norden und Süden verlängert. Die täglichen Höhenänderungen des Strandes können erheblich sein (bis zu 2,60 m innerhalb von zwei Tagen) und müssen daher bei allen Baumaßnahmen berücksichtigt werden.

Als Ursache der Veränderungen wurden die angreifenden Kräfte Wind, Wellen und Strömungen untersucht. Für die Veränderungen an der Sylter Westküste kommt dabei den Wellen die ausschlaggebende Bedeutung zu. Aus diesem Grunde nahmen die Wellenmessungen eine besondere Stellung innerhalb der Untersuchungen ein und führten zur Anwendung neuer Meßmethoden (Messung von Wellenenergie auf mikroseismischem Wege).

Außer einer Darstellung der geschichtlichen Entwicklung der Küstenschutzmaßnahmen auf Sylt und deren Kosten wird mit Hilfe generalisierender Annahmen (Physiographische Einheit) ein Überblick über die Bewegungsvorgänge in Küstennähe gegeben und nachgewiesen, daß man bei allen Küstenschutz-Untersuchungen von der Materialbilanz ausgehen muß. Sylt stellt keine Physiographische Einheit dar, sondern weist eindeutig eine negative Materialbilanz auf.

Die Beurteilung der Sylter Küstenschutzmaßnahmen, die sich auch auf die bisher über dieses Thema verfaßten Arbeiten stützt, führte zu folgenden Ergebnissen:

1. Die auf Sylt bisher eingebauten Buhnen haben nur dort eindeutig positiv gewirkt, wo starke Uferlängsströmungen auftreten; für den mittleren Teil der Sylter Westküste, der vorwiegend unter Brandungseinfluß steht, läßt sich eine positive Wirkung nicht nachweisen.
2. Die auf Sylt errichteten Deckwerke und Strandmauern haben ihren Zweck bisher erfüllt, jedoch muß berücksichtigt werden, daß ihre Wirkung zeitlich und örtlich begrenzt ist.



3. Der „bewegliche Küstenschutz“ mit Hilfe von Strandhaferpflanzungen und Buschzäunen hat sich bewährt, da bei seiner Anwendung der Erfolg in einem günstigen Verhältnis zum Aufwand steht.

Für den zukünftigen Sylter Küstenschutz werden folgende Empfehlungen gegeben:

1. An der gesamten Küste:  
Einhaltung einer bebauungsfreien Zone am Ufer sowie Anlage von Halmpflanzungen und Buschzäunen.
2. An der Westküste:
  - a) Im Mittelteil der Insel, d. h. im Abschnitt Rantum bis Klappholtal (vorwiegend unter Brandungseinfluß):  
Soweit wirtschaftlich vertretbar, sollten im Vorstrandgebiet Küstenschutzwerke mit flächenhafter Wirkung angeordnet werden; diese Werke müßten sich auf einen möglichst breiten Küstenstreifen erstrecken, um die Sandwanderung wirkungsvoll zu bremsen und die freiwerdende Brandungsenergie möglichst weitgehend zu vernichten.
  - b) Im Nordteil der Insel etwa ab Klappholtal und im Südteil etwa ab Puan-Klent (unter Strömungs- und Brandungseinfluß):  
Wenn zwingende örtliche Gründe vorliegen, Anlage von Buhnen mit flachem Querschnitt.
3. An der Ostküste:  
Anlage kräftiger Buschlahnungen an den Abbruchstrecken.

## VI. Schriftenverzeichnis

1. BEACH EROSION BOARD: Shore Protection, Planning and Design, Technical Report No. 4. Washington 1954.
2. DOBBIE, C. H.: Küstenschutz (Übersetzung). Civ. Eng., No. 11, 1952.
3. DOLEZAL, R.: Vermessungsbericht III. (Nicht veröffentlicht; Bücherei des Marschenbauamts Husum) 1948.
4. DOLEZAL, R.: Anschlußnivelllement der Insel Sylt 1953. (Nicht veröffentlicht; Untersuchungsbericht 3 der Vorarbeitenstelle Sylt des Marschenbauamts Husum) 1954.
5. FISCHER, O.: Einfluß der Schutzbauten auf den Abbruch der Sylter Westküste. Zentralbl. d. Bauverw. 23, 1938.
6. FÜLSCHER: Über Schutzbauten zur Erhaltung der ost- und nordfriesischen Inseln. Berlin 1905.
7. GAYE, J.: Die deutsche Küstenforschung und der Seewasserbau. Die Küste 3, H. 1/2, 1955.
8. GRIESSEIER, H. u. VOLLBRECHT, K.: Untersuchungs- und Beobachtungsergebnisse über einige Gesetzmäßigkeiten im litoralen Geschehen. Acta Hydrophysica II, H. 3, 1954.
9. GRIESSEIER, H. u. VOLLBRECHT, K.: Über einige neuere Gesichtspunkte in der Küstenforschung. Forschungen u. Fortschr. 29, H. 1, 1955.
10. GRIPP, K.: Entstehung und künftige Entwicklung der Deutschen Bucht. Arch. Deutsch. Seewarte 63, Nr. 2, 1944.
11. HABERSTROH, E. G.: Forschungsarbeiten im dithmarscher Wattenmeer. Westküste 1, H. 1, 1938.
12. HANNOV. VERSUCHSANST. F. GRUNDBAU U. WASSERBAU: Wellenversuche für das Uferschutzwerk bei Westerland auf Sylt. (Nicht veröffentlicht) 1953.
13. HANSEN, C. P.: Die nordfriesische Insel Sylt. Leipzig 1859.
14. HENSEN, W.: Modellversuche über den Wellenaufbau an Seedeichen im Wattengebiet. Mitt. Hannov. Versuchsanst. H. 5, 1954.
15. HENSEN, W.: Modellversuche über den Strandabbruch an den Enden von befestigten Küstenstrecken — Lee-Erosion. Mitt. Hannov. Versuchsanst. H. 10, 1957.
16. HUNDT, Cl.: Denkschrift über die Abbruchsursachen an der Nordwestküste des Ellenbogens auf Sylt und Folgerungen für die Sicherung dieser Küstenstrecke. (Bücherei des Marschenbauamts Husum) 1939.
17. HUNDT, Cl.: Wassertiefenmessung. Abschnitt II aus dem Bilanzbericht der Arbeitsgruppe „Wasserbauliche Hydrometrie“ im Küstenausschuß Nord- und Ostsee. (Nicht veröffentlicht) 1951.
18. KIRSCHMER, O.: Die Theorie der Meereswellen als Grundlage von Modellversuchen für Seebauten. MAN-Forschungsh., 2. Halbjahr, 1952.
19. KRAMER, J. u. HOMEIER, H.: Die Auswirkung der Inselnchutzwerke auf die Strandentwicklung im Westteil von Norderney. Jahresber. 1954, Forschungsstelle Norderney, 1955

20. LAMBERT: Entwicklung und Wirkung der Buhnenbauten unter besonderer Berücksichtigung der Eisenbetonbuhnen auf Sylt. (Nicht veröffentlicht; Bücherei d. Marschenbauamts Husum) 1939.
21. LAMPRECHT, H.-O.: Ufervermessungen auf Sylt. (Nicht veröffentlicht; Untersuchungsber. 4 der Vorarbeitenstelle Sylt des Marschenbauamts Husum) 1954 a.
22. LAMPRECHT, H.-O.: Tägliche Veränderungen am Weststrand von Sylt. (Nicht veröffentlicht; Untersuchungsber. 6 der Vorarbeitenstelle Sylt des Marschenbauamts Husum) 1954 b.
23. LAMPRECHT, H.-O.: Veränderungen des Unterwasserstrandes an der Westküste von Sylt seit 1870. (Nicht veröffentlicht; Untersuchungsber. 9 der Vorarbeitenstelle Sylt des Marschenbauamts Husum) 1955 a.
24. LAMPRECHT, H.-O.: Brandung und Uferveränderungen an der Westküste von Sylt. Diss. T. H. Hannover; Mitt. Hannov. Versuchsanst. H. 8, 1955 b.
25. LAMPRECHT, H.-O.: Wirkungsweise von Küstenschutzmaßnahmen auf Sylt. (Nicht veröffentlicht; Untersuchungsber. 10 der Vorarbeitenstelle Sylt des Marschenbauamts Husum) 1956 a.
26. LAMPRECHT, H.-O.: Ufervermessungen der Sylter Ostküste. (Nicht veröffentlicht; Untersuchungsber. 12 der Vorarbeitenstelle Sylt des Marschenbauamts Husum) 1956 b.
27. LAMPRECHT, H.-O.: Wirkungsweise von Küstenschutzbauwerken auf Sylt. Wasserwirtschaft 47, H. 5, 1957.
28. LAMPRECHT, H.-O.: Dünenschutzwerke auf Sylt. Die Bautechnik, H. 1, 1958.
29. LEU: Denkschrift über den Buhnenbau auf der Insel Sylt. (Nicht veröffentlicht; Bücherei des Marschenbauamts Husum) 1920.
30. LORENZEN, J. M.: Hundert Jahre Küstenschutz an der Nordsee. Die Küste 3, H. 1/2, 1955.
31. LÜDERS, K.: Die Entstehung der ostfriesischen Inseln und der Einfluß der Dünenbildung auf den geologischen Aufbau der ostfriesischen Küste. Probleme d. Küstenforschung im südl. Nordseegebiet, Bd. 5, 1953.
32. LUX, H.: Die biologischen Grundlagen der Strandhaferpflanzung und Silbergrasansaat im Dünenbau. Diss. Univ. Kiel, 1954.
33. LÜPKES, H. u. SIEMENS, H. P.: Planung und Stand der Maßnahmen zur Sicherung des Ellenbogens von Sylt. Westküste 2, H. 2/3, 1940.
34. LÜPKES, H. u. SIEMENS, H. P.: Erfahrungen mit Stahlbuhnen auf der Insel Sylt. Die Bautechnik, H. 46/47, 1941.
35. MAGENS, C., WYRTKI, K. u. RODEN, G.: Die Brandungswirkungen an den Küsten Fehmarns und Wagriens. (Nicht veröffentlicht; Untersuchungsber. d. Gewässerkundl. Untersuchungsstelle des Wasser- und Schiffsamts Kiel) 1954.
36. MAGER, Fr.: Der Abbruch der Insel Sylt durch die Nordsee. Schr. Balt. Komm. zu Kiel; Breslau 1927.
37. MARSCHENBAUAMT HUSUM: Akten über Untersuchungen auf Sylt.
38. MÜLLER, Fr. u. FISCHER, O.: Das Wasserwesen an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. Sylt. Berlin 1938.
39. NEGER, R.: Die Entwicklung des Buhnenbaues in den deutschen Stromgebieten. Berlin 1932.
40. PETERSEN, J.: Uferabbruch und Gestaltwandel der Insel Sylt in geschichtlicher Zeit. Ann. Hydr. 66, H. 7, 1938.
41. PETERSEN, M.: Erfahrungen und Beobachtungen an den Dünenschutzarbeiten auf Sylt. (Nicht veröffentlicht; Bücherei des Marschenbauamts Husum) 1938.
42. PETERSEN, M.: Abbruch und Schutz der Steilufer an der Ostseeküste (Samland bis Schleswig-Holstein). Diss. T. H. Hannover; Die Küste 1, H. 2, 1952.
43. PFEIFFER: Denkschrift über den Buhnenbau auf der Insel Sylt. (Nicht veröffentlicht; Bücherei des Marschenbauamts Husum) 1920.
44. PFEIFFER, H.: Die Arbeiten an der schleswig-holsteinischen Westküste seit 1933. Westküste 1, H. 1, 1938.
45. ROLL, H. U.: Von der Initialwelle bis zur Sturmsee. Methoden und Ergebnisse der modernen Seegangsforschung. Hansa 90, H. 6/7, 1953.
46. RUHNKE, C. M.: Technischer Bilanzbericht über die Küstenschutzmaßnahmen im Baubezirk Sylt des Marschenbauamts Husum. (Nicht veröffentlicht; Bücherei des Marschenbauamts Husum) 1950.
47. RUSSEL, R. C. H. u. INGLIS, C.: The Influence of a Vertical Wall on a Beach in Front of it. Proc. Minnesota Internat. Hydraul. Convention, 1953.
48. SCHADE: Denkschrift über den Buhnenbau auf Sylt. (Nicht veröffentlicht; Bücherei des Marschenbauamts Husum) 1936.



49. SCHUMACHER, A. u. THORADE, H.: Die Gezeiten der Sylter Gewässer nach den Beobachtungen im August 1921. Arch. Deutsch. Seewarte, Nr. 2, 1923.
50. SVERDRUP, H. U. u. MUNK, W. H.: Wind, Sea and Swell: Theory of relations for Forecasting. U.S. Navy Department Hydr. Off., Publ. No. 601. Washington 1947.
51. VAN VEEN, J.: Dredge, Drain, Reclaim. The art of a nation. 3. Ausg., Den Haag 1950.
52. VOLLBRECHT, K.: Beiträge zum Problem brandender Wellen. Acta Hydrophys. II, H. 1, 1954.
53. VOLLBRECHT, K.: Über die Natur des Sedimentgleichgewichtes im Litoral. Geofisica pura e applicata, Milano, Vol. 28, 1954.
54. VOLLBRECHT, K.: Strandabtragung durch Wellenreflexion an steilwandigen Küstenschutzbauten. Wasserwirtschaft — Wassertechnik 5, H. 8, 1955.
55. WYRTKI, K.: Die Bilanz des Längstransportes in der Brandungszone. Deutsch. Hydrogr. Z. 6, H. 2, 1953.
56. ZAUSIG, F.: Veränderungen der Küsten, Sände, Tiefs und Watten der Gewässer um Sylt (Nordsee) nach alten Seekarten, Seehandbüchern und Landkarten seit 1585. Geol. Meere u. Binnengew. 3, H. 4, 1939.
57. ZITSCHER, F. F.: Der Bau eines Uferdeckwerkes vor Westerland/Sylt in kombinierter Asphalt- und Basaltbauweise. Bitumen, H. 5, 1955.

# Über die Pflege und Nutzung des Anwachs und der Deiche an der Dithmarscher Küste\*)

Von Peter Lafrenz

## Inhalt

A. Einführung . . . . .	94
B. Anwachs (Vorland) . . . . .	98
I. Oberflächengestaltung	
a. Natürliche Verlandung . . . . .	98
b. Vorflutregelung, Lahnungen und Brackwasserbekämpfung . . . . .	102
c. Arbeitskräfte . . . . .	112
II. Beweidung	
a. Schäfer, Schafe und Gänse . . . . .	116
b. Großvieh . . . . .	116
III. Tränkwasser-Versorgung	
a. Im unbedeichten Vorland . . . . .	119
b. In den Sommerkögen . . . . .	119
c. Wasserleitung . . . . .	120
IV. Verwaltung	
a. Entwicklung der Verordnungen . . . . .	120
b. Interessen des Staates . . . . .	121
c. Interessen der Deich- und Sielverbände . . . . .	121
C. Die Deiche	
I. Sommerdeiche und Sommerköge . . . . .	122
II. Winterdeiche (Landesschutzdeiche) . . . . .	124
a. Beweidung und Ausbesserung durch Soden . . . . .	125
b. Entfernung der Spülsäume (Treibsel). . . . .	126
c. Befahren der Deichberme bzw. -böschung . . . . .	126
D. Zusammenfassung und Empfehlungen . . . . .	128
E. Schriftenverzeichnis . . . . .	129

## A. Einführung

Die Seedeiche an der Dithmarscher Westküste sollen die gesamte in ihrem Schutz liegende Seemarsch vor jeder Überflutung durch die Nordsee bewahren, damit die dort ansässig gewordene Bevölkerung auf ihrer Scholle gesichert wohnen und wirtschaften kann. Darauf ist die Höhe und Stärke dieser Deiche ausgerichtet zu halten (Abb. 1).

Bis vor wenigen Jahrzehnten sind diese Deiche aus dem auf das Watt aufgelandeten Vorlandboden gebaut und mit den darauf gewachsenen Soden bedeckt worden. Soden sind Baustoffe, die dem Angriff der Wassermassen der Gezeiten zwar nicht absolut, aber doch bis zu einem Grade, der von ihrem Kleigehalt und ihrer Pflanzendecke abhängig ist, widerstehen können. Andere, bessere Baustoffe sind auch für die alljährlich notwendige Deichunterhaltung bis dahin nicht zur Anwendung gekommen.

Die Sode ist ein lebender Baustoff (Abb. 2 u. 3), sie verlangt darum eine Behandlung, die diesen Umstand sorgfältig berücksichtigt, auch hinsichtlich des jahreszeitlichen Termins ihrer Verpflanzung an den Deichkörper, mit dem sie verwachsen soll; sie ist keine Fabrikware, verträgt keine Stapelung oder sonstige naturwidrige Behandlung und erfordert zu ihrem Heranwachsen (ihrer Entstehung) eine Zeit von zwölf bis fünfzehn und mehr Jahren.

\*) Als Denkschrift verfaßt und vorgelegt im Jahre 1951.



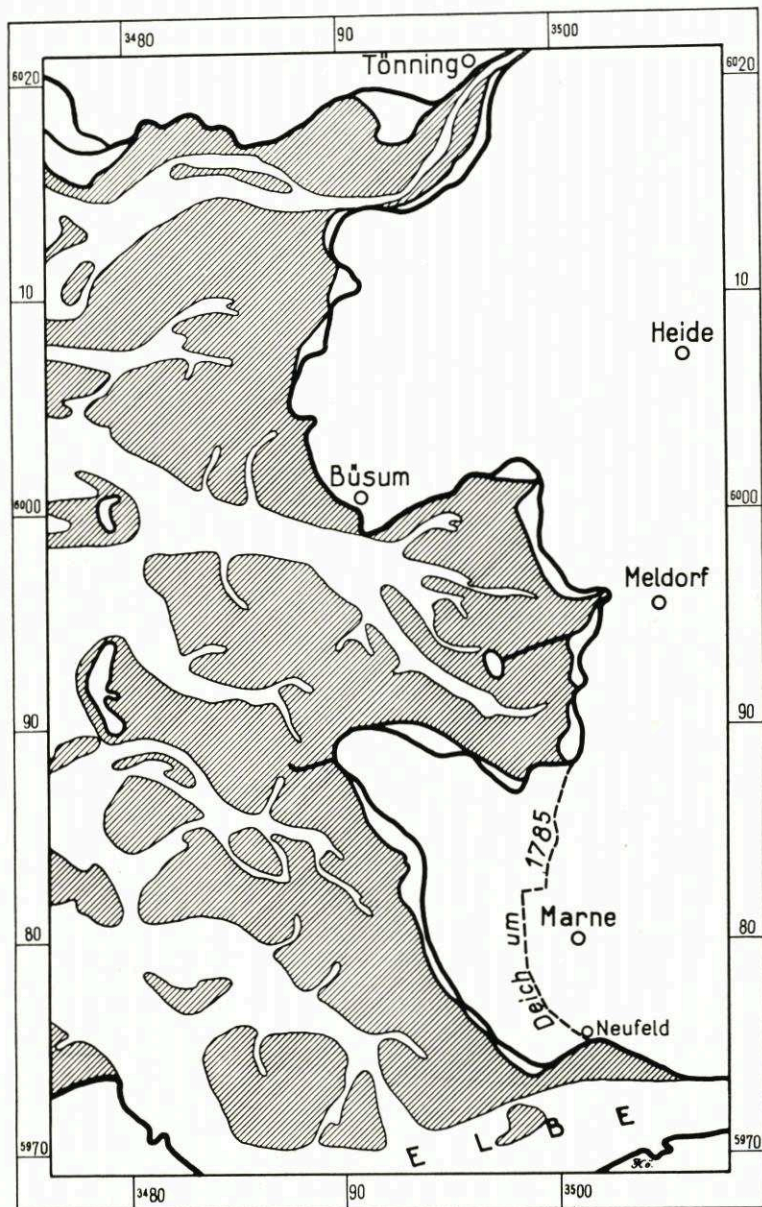


Abb. 1. Die Dithmarscher Küste

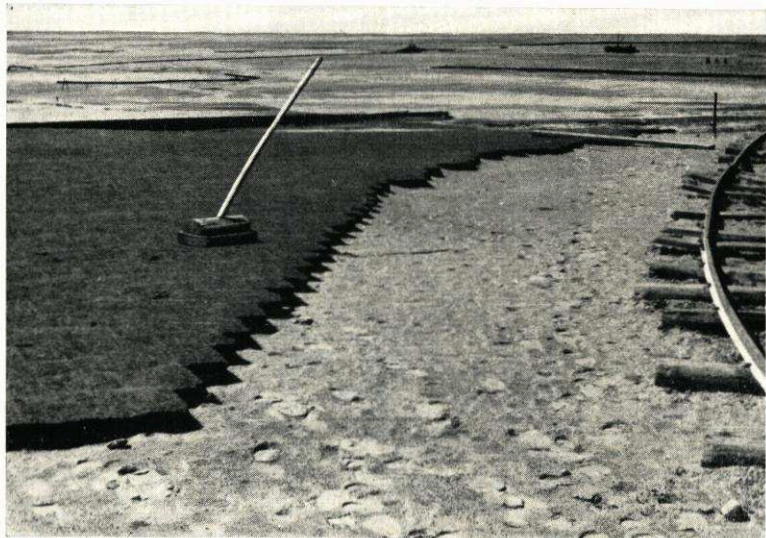
Das Fundament der Deiche ist der ehemalige Vorlandstreifen, auf dem sie stehen, und der darunter anstehende Wattboden; es muß unter allen Umständen dem Zugriff der gewöhnlichen Gezeitenwelle entzogen gehalten werden. Das kann am vollkommensten durch vorhandenes oder zu schaffendes Vorland geschehen, und es mag bereits hier darauf hingewiesen sein, daß z. B. Steindecken kein gleich wirksamer Ersatz für fehlendes oder verlorengegangenes Vorland sein können.

Die Nutzung der Deiche (und des Vorlandes) kann und sollte immer am zweckmäßigsten



Aufn. E. WOHLBERG

Abb. 2. Die Vorlandsode ist der wertvollste Baustoff für den Deichbau und für die Ausbesserungsarbeiten am Seedeich. Dieksander Koog, 29. 5. 1937



Aufn. E. WOHLBERG

Abb. 3. Neuanlage eines Deichprofils mit neu angedeckten Vorlandsoden. Im Hintergrund das Watt. Friedrichskoogspitze, 12. 6. 1936

durch Beweidung mit den Herden der außendeichsgewohnten Berufsschäfer geschehen — bei grundsätzlichem Ausschluß von Pferden und Großrindern von der Beweidung. Dann kann die Deichnutzung der Deichpflege und -unterhaltung wie auch der Wehrhaftigkeit der Deiche weitmöglichst zugute kommen.

Die Unterhaltung der Seedeiche in ihrer bisherigen Bauweise kann nur da und solange als gesichert gelten, als dazu in ausreichendem Maße Vorland vorhanden ist, aus dem für





Aufn. W. DECHENE

Abb. 4. Die außerhalb der Landgewinnungswerke vor der offenen Dithmarscher Küste befindlichen Watten bestehen aus reinem Sand und sind außerordentlich starken Umlagerungen bei jeder Tide unterworfen. Mittelplate, 10. 6. 1936



Aufn. E. WOHLBERG

Abb. 5. Die Außenkurve eines Priels bedroht durch seitliche schnelle Wanderung eine Buschlahnung. Im Hintergrund die Ringdeichtränke des Anwachs vor Olversum und Kating, 5. 10. 1937

die Deichunterhaltung brauchbare Boden- und Sodenmassen gewonnen werden können. Deshalb sollten überall und stetig vor den Seedeichen Maßnahmen durchgeführt werden, von denen ausreichender Zuwachs an brauchbarem Vorland für den zukünftigen Deichunterhaltungsbedarf erwartet werden kann. Von selbst entsteht vor der Dithmarscher Küste kein Vorland und am allerwenigsten vor Steindecken.

Diese Abhandlung beschränkt sich auf die Schilderung der einschlägigen Verhältnisse vor der Dithmarscher Küste (Abb. 1), einmal, weil diese zumeist andere sind als diejenigen nördlich der Eider, und zum anderen, weil das nordfriesische Gebiet 1931 von W. HINRICHS<sup>1)</sup> in seiner Schrift „Nordsee, Deiche, Küstenschutz und Landgewinnung“ ausführlich behandelt worden ist.

## B. Anwachs (Vorland)

### I. Oberflächengestaltung

#### a. Natürliche Verlandung

Die Unterlage der jungen Seemarsch ist der Wattboden, der vor der Dithmarscher Küste aus feinem Sand ohne merkliche Beimengungen bindiger Bodenteile besteht. Dieser Boden ist sehr wenig widerstandsfähig gegen die Einwirkungen strömender Wassermassen. In ihm sind Priele aller Größen in stetiger Verlagerung ihrer Betten begriffen, sie pflügen den Wattboden sozusagen dauernd um (Abb. 4 u. 5); es gab und gibt hier im Gezeitenbereich keinen natürlichen Beharrungszustand, deshalb ist es auch nicht möglich, die vordere Zone des Vorlandes — das Ufer — sozusagen „auf der Stelle“ zu halten; es geht entweder zurück oder wächst vor. Stillstand ist hier bereits Rückgang. Der stetige Wechsel der Lage der Hauptstromrinnen erschwert besonders im Unterlauf und Mündungsgebiet der Elbe und Eider die Erhaltung wie auch die Gewinnung von Vorland vor den Deichen.

Im Küstenbereich nördlich der Eider sind die anfallenden Sinkstoffe feinkörniger und mengenmäßig reichlicher. Infolgedessen ist der Wattboden dort von mehr kleiiger (toniger) Beschaffenheit, als dies vor der Dithmarscher Küste der Fall ist.

Im Wattenmeer können zuweilen auf hochgelegenen Wattflächen in natürlichen Stillwasserbereichen und auf dem Leehang von Sandbänken ohne menschliches Zutun Sinkstoffablagerungen stattfinden, auf denen sich Pflanzen von mancherlei Art entwickeln und auch landwirtschaftlich nutzbar werden können. Das geschah z. B. seit der Mitte des 18. Jahrhunderts vor und im Bereich des heutigen Kaiser-Wilhelm-Kooges (Abb. 6, die beiden sogenannten „Maxqueller“ — teils 1873 im Kaiser-Wilhelm-Koog mit bedeiht), am Franzosensand, von dem ein Teil 1933/35 in den Dieksander Koog einbezogen wurde. Mehrere sogenannte „Queller“ sind 1853/54 im Friedrichskoog in Dithmarschen mit bedeiht worden. Schließlich sei im Dithmarscher Raum noch auf Trischen hingewiesen, das von 1854 ab auf dem Osthang des Buschsandes nördlich der Außenelbe entstand, 1922/23 bedeiht und 1943 wieder zerstört wurde (vgl. WOHLBERG, 1950).

Ferner entstanden in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts die sogenannte „Grüne Insel“ in der Untereider vor Olversum (vgl. WOHLBERG, 1931) und der „Westerheversand“ westlich von Westerhever.

Das Oberflächenbild, das diese beiden letzteren Ablagerungen 1903 boten, ließ noch auf ihren ursprünglichen Zustand schließen, sie waren anfangs offenbar größtenteils ein Gemengsel von begrünten Kuppen und kolkigen Mulden, die nicht anders als durch Versickerung entwässern konnten. So ähnlich wird man sich die sogenannten „Maxqueller“ vor Süderdithmarschen vorstellen dürfen (Abb. 6 und 9).

<sup>1)</sup> Der Verfasser kennt diese unterschiedlichen Verhältnisse aus eigener Erfahrung; er war vom 1. 4. 1902 ab HINRICHS „Lehrling“ in Deichbau und -unterhaltung, wie auch in der Küstenschutz- und Landgewinnungsarbeit und bis 1929 sein Mitarbeiter, bevor er Ende 1930 nach Süderdithmarschen versetzt wurde und die Leitung des Domänenrent- und Bauamtes Marne (später Meldorf) übertragen erhielt.



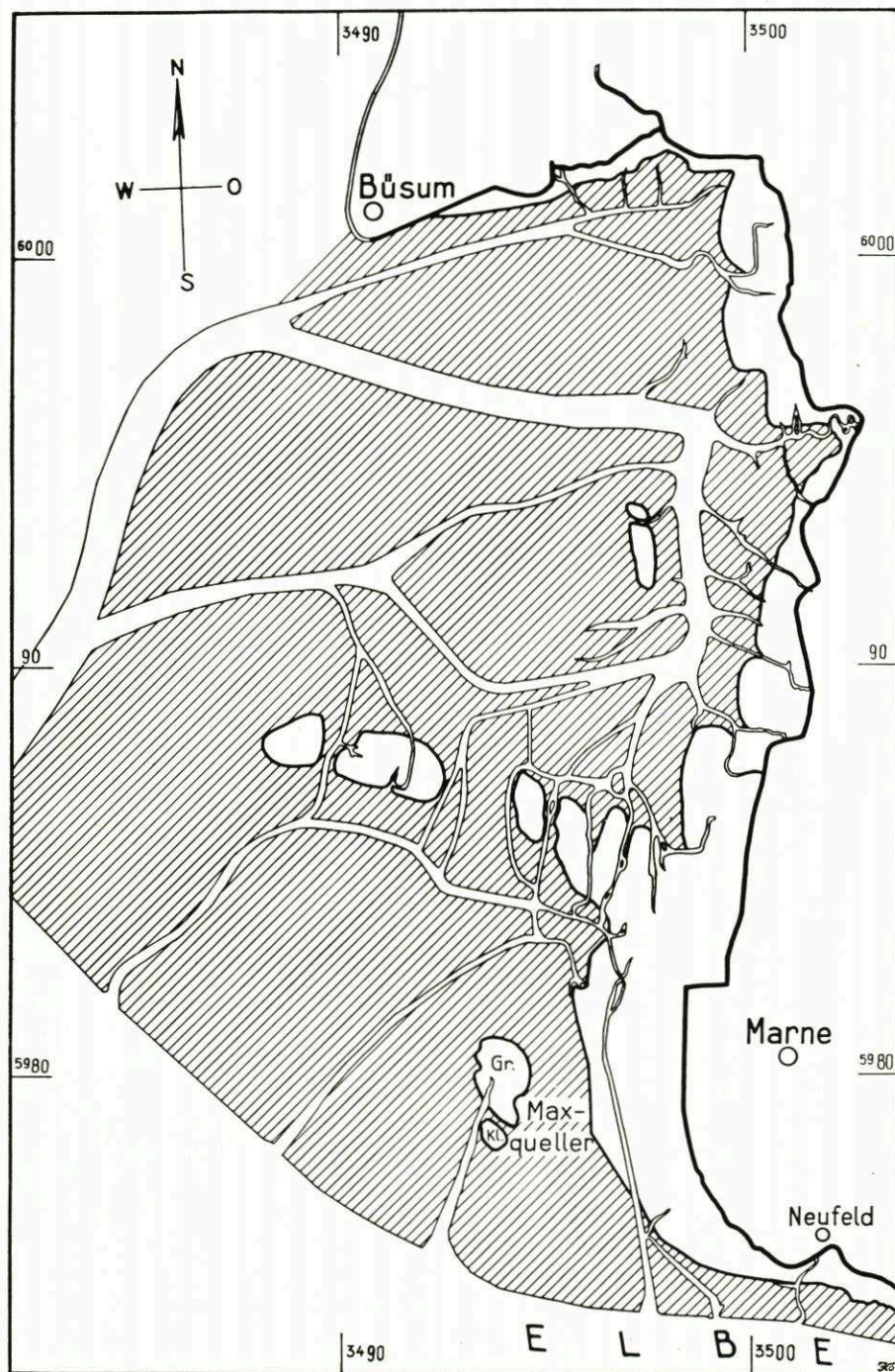


Abb. 6. Der Anwachs vor Süderdithmarschen um etwa 1800. Westlich von Marne die beiden „Max-Queller“, die 1873 im Kaiser-Wilhelm-Koog bedeckt wurden



Aufn. E. WOHLBERG

Abb. 7. Geschichteter Aufbau des jungen Anwachs. Grüne Insel, 15. 8. 1929 (aus WOHLBERG, 1931)



Aufn. E. WOHLBERG

Abb. 8. Der nordwestliche Teil des Anwachs vom Westerheversand

Wenn nun das Verhalten dieser Naturgebilde verfolgt wird, so ist festzustellen:

1. Die Grüne Insel hatte bis 1903 von Südosten her bereits erheblichen Abbruch erlitten (Abb. 7), der dort in geringem Maße noch anhält; ihr Zuwachs ging in Richtung Norden und Westen — 1903 bereits unterstützt durch Uferschutz- und Entwässerungsmaßnahmen.
2. Der Abbruch des Westerheversandes von außen her ist gering geblieben. Sein Zuwachs verlief langsam in Richtung Seedeich, unterstützt durch Dammverbindungen zum Seedeich (Abb. 8).





Abb. 9  
Natürlicher Anwachs.  
Keine Entwässerung durch  
Gruppen. Die Andelpolster  
wachsen unregelmäßig heran.  
Auguste-Viktoria-Koog,  
8. 8. 1939  
Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 10  
Ungleichmäßig verlandetes  
Vorland mit Vertiefungen, die  
erst nach ihrer Entwässerung  
verlandeten.  
Christianskoog, 6. 5. 1938  
Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 11  
Vorschriftsmäßig begruppelter  
und beweideter Anwachs  
Aufn. MARSCHENBAUAMT Heide



3. An den „Maxquellern“ gingen Anwachs (nach Osten) und Abbruch (von Westen und Norden her) wohl von Anfang an miteinander einher. Dem Abbruch fielen auch zwei sogenannte Schafswurten mit Tränken zum Opfer, er wurde erst durch den Bau einer Steindecke von etwa 4,8 km Länge unterbunden, die 1878 fertig wurde<sup>2)</sup>.
4. Die im Friedrichskoog bedachten „Queller“ waren ziemlich ortsfest gewesen (Abb. 6).
5. Das Schicksal Trischens ist bereits oben erwähnt.

Im ganzen betrachtet waren die natürlichen, isoliert im Wattenmeer liegenden Anwachsgebiete bestandsunsichere Gebilde. Um ihren Bestand zu sichern, sie zur ungefährlichen Nutzung und zur etwaigen Einbeziehung in Bedeichungen von der Küste aus reif zu machen, war das Eingreifen des Menschen in ihren Werdegang nötig. Als Ausgangsbasis und Stützpunkte zur Durchführung planmäßiger Landgewinnungsmaßnahmen sind sie jedoch nicht zu empfehlen. Natürliche Verlandungen im Wattenmeer können zuweilen etwas wert sein, wenn sie etwa als Kopf der vom Seedeich ausgehenden Dämme zur Unterbindung des Küstenstroms dienen können, wie es z. B. 1889 vor dem Nordwestteil des Kaiser-Wilhelm-Kooges geschehen ist (vgl. HINRICHS, 1931, S. 62). Damals erbaute der Domänenrat MÜLLENHOFF vom Seedeich des Kaiser-Wilhelm-Kooges aus einen etwa 1,5 km langen Damm zum Kern des Franzosensandes (jetzt Standort der Neulandhalle im Dieksanderkoog), der den bis dahin um diesen Sand kreisenden Strom unterband. Dadurch wurde namentlich östlich des Dammes vor dem späteren Wilhelms-, Kleindieksander- und Friedrichssommerkoog ein Sinkstoffall ausgelöst, der dort die weitere Verlandung des Watts in großer Breite durch Rasenerddämme ermöglichte. Dieser günstigen Entwicklung hat eine nach 1902 durchgeführte Erhöhung des Dammes noch etwas nachgeholfen.

Um die Sinkstoffablagerungen gegen die Wiederaufarbeitung durch die Fluten zu festigen, ist in erster Linie darauf Bedacht zu nehmen, daß sie während der Ebbezeiten vollkommen und möglichst lange trockenfallen können (vgl. Abb. 13—15).

#### b. Vorflutregelung, Lahnungen und Brackwasserbekämpfung

Um das bis zu seiner eventuellen Bedeichung der Überflutung ausgesetzt bleibende Vorland in „Kultur“ zu bringen und in guter „Kultur“ zu halten, ist es notwendig, die täglich zweimal auf- und abflutenden Wassermassen der Gezeiten im gesamten Vorland und Anwachs so zu lenken, daß sie hier möglichst nicht schädlich wirken; es ist eine geregelte Wasserführung anzustreben, ganz besonders in der niedrigst gelegenen Anwachszone und in der sich davor hinziehenden Quellerzone (Abb. 9—11).

Die untere Begrenzung der Anwachszone ist die MThw-Linie. Die Quellerzone reicht im allgemeinen bis etwa 0,30 bis 0,40 m unter MThw hinab. Diese beiden Zonen bleiben dem Angriff aller bis zu MThw und wenig darüber hinaus auflaufenden Fluten täglich zweimal ausgesetzt und ihr Boden wird dabei stark mit Wasser durchtränkt. Werden hier nicht Einrichtungen geschaffen, die den bis dahin willkürlichen Lauf der Hauptwassermassen in geregelte Bahnen lenken, so würden die zum Absatz gelangenden Sinkstoffe der Wiederaufarbeitung durch die jeweils nächste Überflutung zu sehr ausgesetzt sein, ein Übelstand, dem nur dadurch abgeholfen werden kann, daß für schnelle und möglichst tiefe Entwässerung gesorgt wird und so die Zeiten des Trockenfallens dieser Zonen während der Ebbezeiten verlängert werden (im Sandwatt wirkt auch die Versickerung in diesem Sinne mit). Dann können Sonne und Wind während dieser Zeiten in stärkerem Maße trocknend und festigend auf die Sinkstoffablagerungen einwirken.

<sup>2)</sup> S. Anlage 3 des Heimatbuches zum 50jährigen Bestehen des Kaiser-Wilhelm-Kooges von W. PHILIPPSEN und R. GÖHRING und nach einer Karte „Die Maxqueller“ vom Jahre 1851 von CHRISTENSEN.



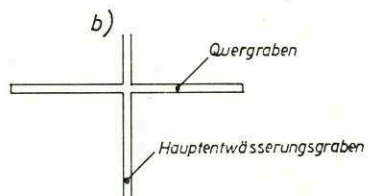
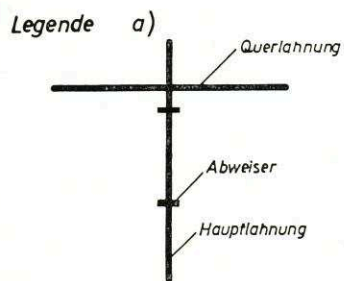
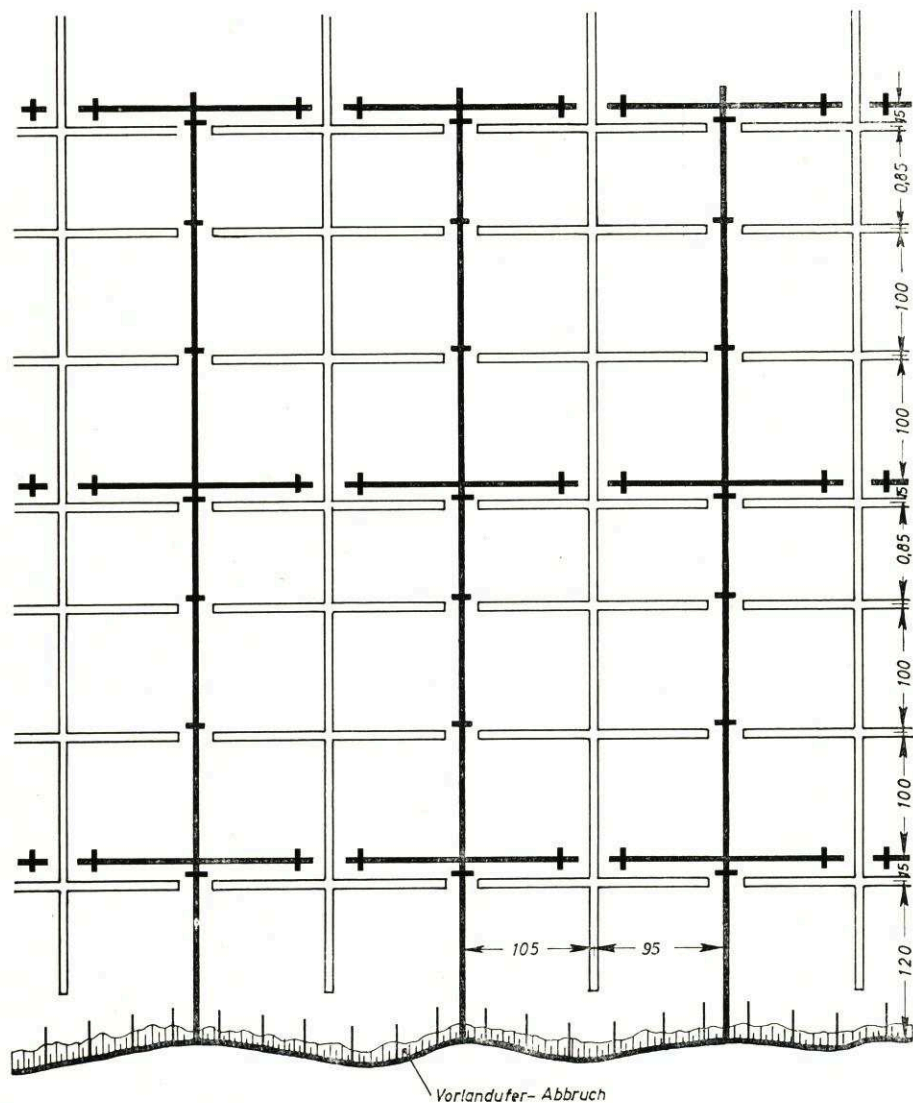
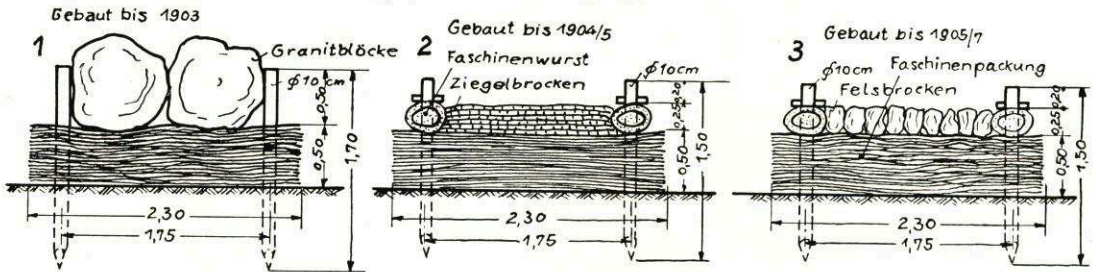
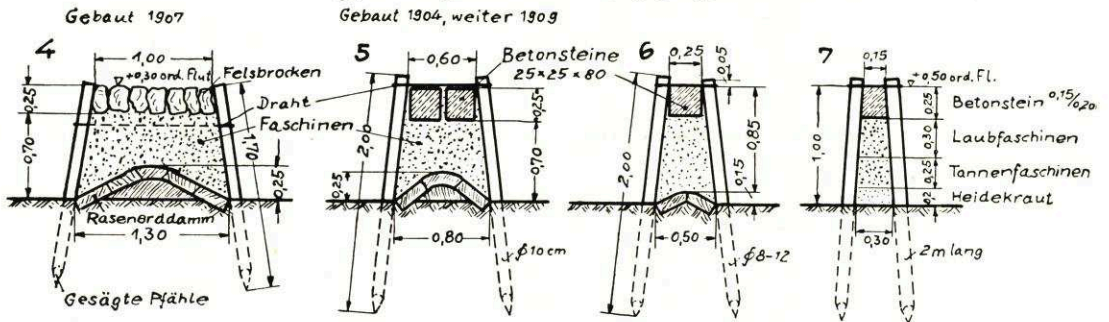


Abb. 12. Lahnungsnetz, Hauptentwässerungs- und Quergräben

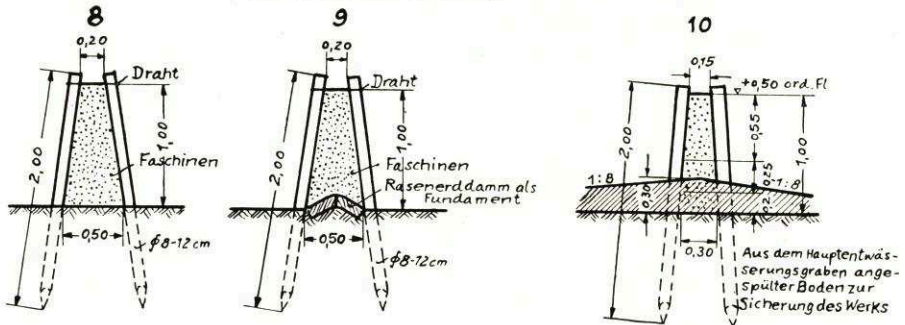
## I. Schwerere Werke



## II. Weniger schwere Werke



## III. Leichte Werke



## IV. Schlickfänge seit 1911

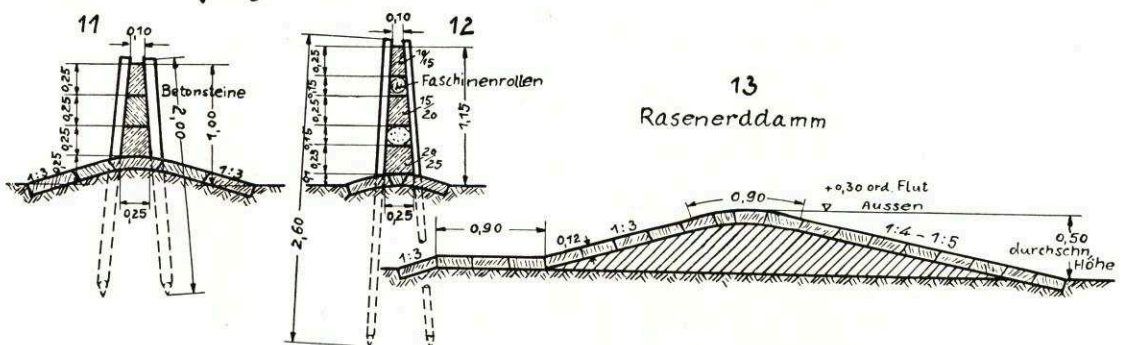


Abb. 13. Überlieferte Konstruktionen von Landgewinnungswerken (Maßstab 1 : 50)



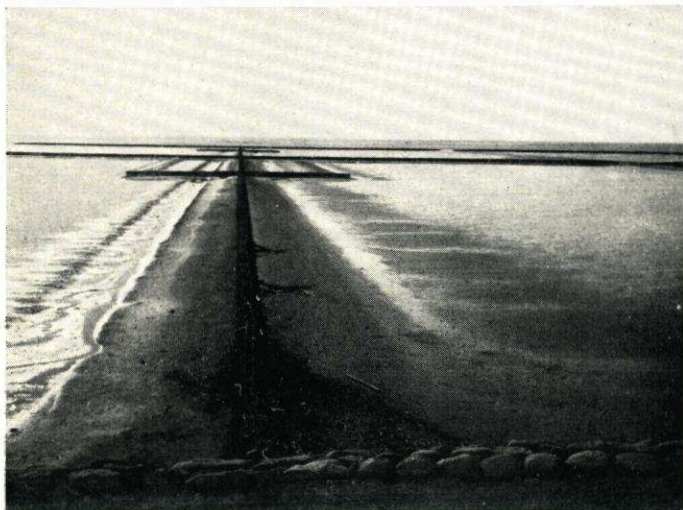


Abb. 14  
Lahnung vor dem  
Christianskoog.  
Am Rande der Bewurfs-  
grüppen ist zu erkennen, daß  
der Wattboden vor der Stein-  
decke besonders sandig ist.  
18. 9. 1933  
Aufn. MARSCHENBAUAMT Heide

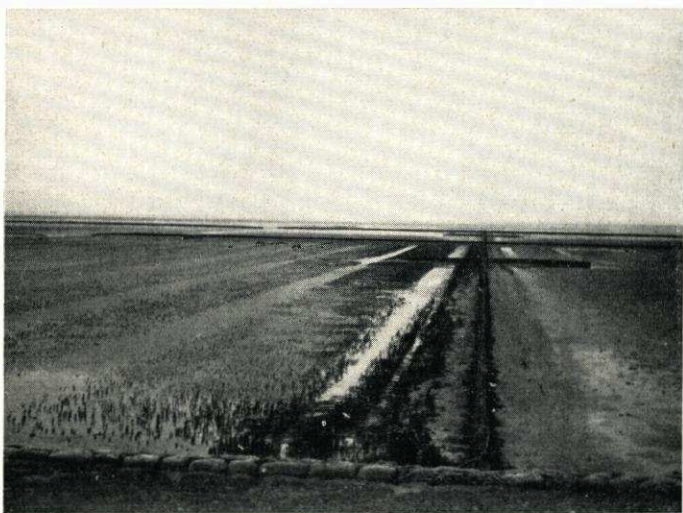


Abb. 15  
Gegend wie Abb. 14.  
Das vor der Steindecke  
liegende Watt links von der  
Lahnung ist begrüppelt und  
schwach mit Queller bestanden.  
Die Grüppen sind inzwischen  
zugesandet. 5. 11. 1935  
Aufn. MARSCHENBAUAMT Heide



Abb. 16  
Die Begrüppelung wurde im  
Frühjahr 1938 wiederholt.  
Die Ränder der Äcker sind  
dicht mit Queller bestanden.  
3. 9. 1938  
Aufn. MARSCHENBAUAMT Heide



Abb. 17

Im Jahre 1928 wurde die  
erste Buschlahnung nach der  
Hallig Helmsand gebaut.  
Blick nach Westen.  
28. 10. 1930

Aufn. MARSCHENBAUAMT Heide

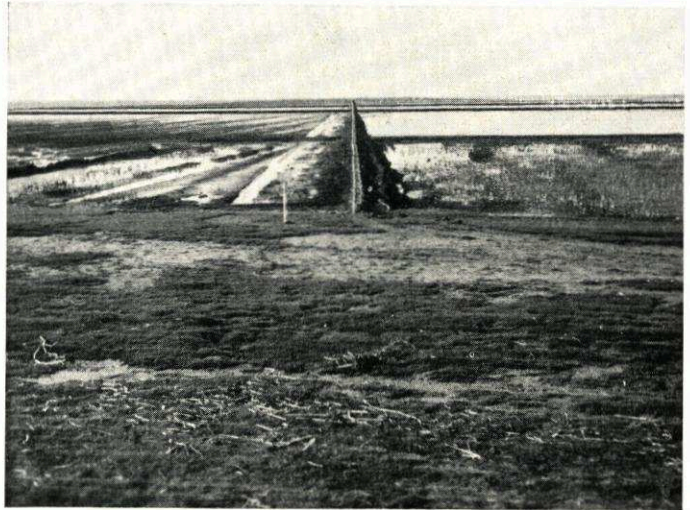


Abb. 18

Wurzelstrecke des Helmsander  
Dammes. Rechts vom Granit-  
damm verläuft noch die  
Buschlahnung aus dem Jahre  
1928. Blick nach Westen

Aufn. MARSCHENBAUAMT Heide



Abb. 19

Verlandungsfortschritte an  
beiden Seiten des Dammes bis  
zu rund 300 m Tiefe

Aufn. MARSCHENBAUAMT Heide

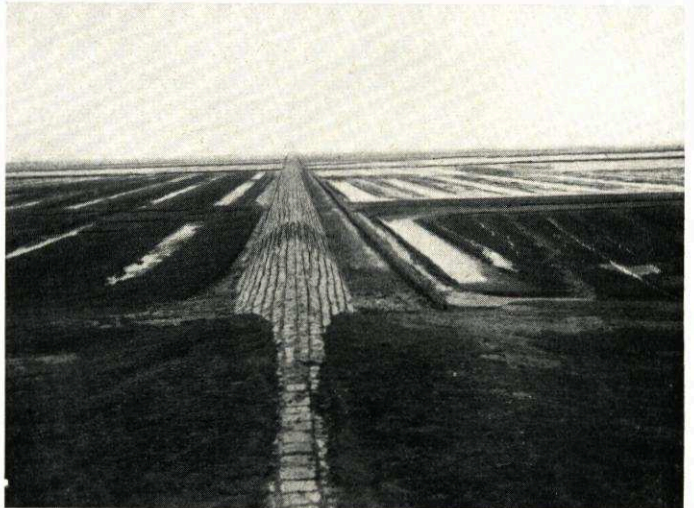






Abb. 20  
Der Helmsander Damm mit  
Buschlahnung von 1928.  
Am Ende der Rest der  
Hallig Helmsand. Links junger  
Anwachs südlich des Dammes.  
Blick nach WSW aus der  
Vogelschau, 4. 9. 1951  
Aufn. D. KÖNIG



Abb. 21  
Helmsander Damm mit  
jungem Anwachs an der  
Südseite. Im Hintergrund der  
im Jahre 1939 errichtete  
Fluchthügel für die Schafe  
in Notzeiten.  
Blick nach Osten, 4. 9. 1951  
Aufn. D. KÖNIG

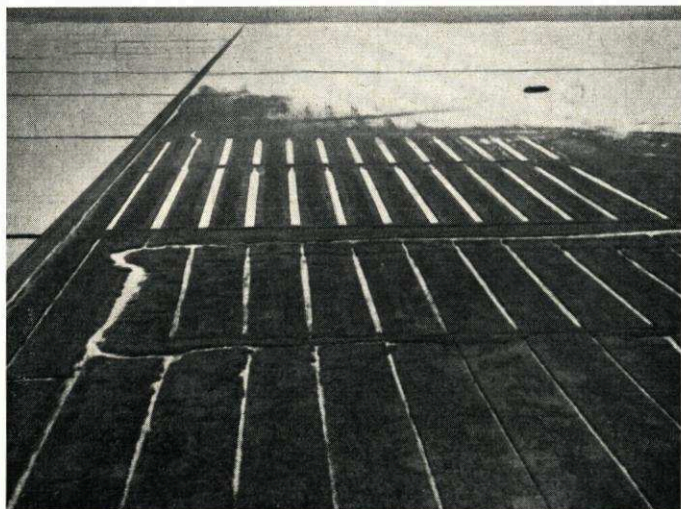


Abb. 22  
Wie oben.  
Blick nach Osten. An der  
Nordseite des Dammes (links)  
noch immer kein Anwachs.  
Blick aus der Vogelschau  
nach Osten, im Hintergrund  
das Festland, 4. 9. 1951  
Aufn. D. KÖNIG



Zur Entwässerung des Vorlandes nebst Quellerzone sind Gräben erforderlich; Hauptentwässerungsgräben, etwa rechtwinklig vom Ufer ausgehend, und Quergräben, etwa parallel zum Ufer verlaufend. Damit nun die auf- und abflutenden Wassermassen den für Uferschutz- und Anlandungszwecke nützlichen Weg einhalten, sind solche baulichen Anlagen zu erstellen, die geeignet sind, den zu führenden Wassermassen diesen Weg in behutsamer Weise aufzunötigen. Das sind sogenannte Lahnungen, welche die beiden oben genannten Zonen und ihr nahes Vorfeld gleichsam netzartig überziehen (Abb. 12).

Die in der modernen Landgewinnungspraxis üblichen Lahnungen haben in der an sich jungen Vergangenheit der Landgewinnung verschiedene Bauweisen als Vorgänger gehabt. In der Abbildung 13 sind die in den früheren Jahrzehnten an der Küste Süderdithmarschens im Gebrauch gewesenen Lahnungstypen mit den Angaben der Baujahre schematisch wiedergegeben.

Die ältesten Lahnungstypen zeichneten sich gegenüber den heutigen durch eine erheblich massivere Bauweise aus. Die Bauart der „schwereren Werke“ ist in der oberen Reihe der Abbildung 13 (I, 1—3) dargestellt. Die Lahnungsbreite mißt bis zu 2,30 m. In den folgenden Jahren wurden die Abmessungen geringer. Die Breite verringerte sich von 1,30 auf 0,35 m. Bemerkenswert ist die Bauart einer Lahnung, wie sie in der Abbildung 13 (IV, 11 und 12) gezeigt wird. Hier hat man zwischen den sich nach oben verjüngenden Querschnitt abwechselnd gebrochene Langsteine (Granit, später Beton) und hartgeschnürte Faschinenwürste gepackt. Dieser bis zum Jahre 1930 vor der Dithmarscher Küste verwendete Lahnungstyp ist restlos aufgegeben worden. Diese Lahnungen waren infolge der Steinpackung zu starr und boten dem steigenden und bewegten Wasser einen zu harten Widerstand. Die Folge davon war ein heftiger Wasserübersturz, wodurch der Lahnungsfuß bald unterspült wurde. Bei der Verwitterung der zwischengelagerten Faschinen wurden die schweren Steine aus ihrem Verband gerüttelt, was wiederum eine umständliche und somit sehr kostspielige Unterhaltung bis zur Wiederinstandsetzung zur Folge hatte.

Ein modernes, für Uferschutzzwecke und zur Vorflutregelung im Watt vor der Dithmarscher Küste geeignetes Lahnungsnetz ist in Abbildung 12 im Grundriß dargestellt. Weitmaschiger sollte es nicht gewählt werden. Wo es die örtlichen Strömungs- und Sinkstoffverhältnisse notwendig erscheinen lassen, namentlich vor einem abbrüchigen Vorlandufer oder vor Steindecken, ist das Netz durch Verringerung der Abstände der Querlahnungen vom Ufer bzw. voneinander engmaschiger zu gestalten. Der Küstenstrom ist vom Ufer bzw. von der Steindecke durch eng gesetzte Abweiser abzudrängen und zu mildern, damit noch weiter abbröckelnde Bodenmassen in Ufernähe aufgefangen werden bzw. vor den Steindecken ein Abbau des Wattbodens unterbunden und zugleich auch eine Auflandung des Wattbodens ausgelöst wird. Ist letzteres endlich geschehen und die Verlandung im Fortschreiten begriffen, dann ist es voll ausreichend, die Außenfront des Lahnungsnetzes in einem mittleren Abstand von bis zu rund 400 m vor der jeweiligen MThw-Linie zu halten (Abb. 14—16). Zu weit vorgestreckte Lahnungen hindern die Zufuhr der schweren Sinkstoffe (Sand) zur Anwachszone — wo sie am nötigsten sind — und zu früh erstellte Lahnungen erfordern Unterhaltungsmaßnahmen, die vermieden werden sollten.

Zur Förderung des Sinkstoffabsatzes im Bereich des Lahnungsnetzes und zur Erhöhung der Standfestigkeit der Lahnungen bedarf es einer wirksamen Abschirmung des in seiner Bautiefe begrenzten Netzbereiches gegen die küstenparallelen Strömungen der mittelhohen Sturmfluten mit meistens starkem Wellengang; dazu können halbschwere Bauwerke in der Art und Bauhöhe etwa des Helmsander Dammes (Abb. 17—23) dienen, die in angemessenen Abständen vom Deichfuß aus um etwa 600 bis 800 m über die Netztiefe hinaus vorzutreiben sind.

Die Hauptentwässerungs- und Quergräben sind möglichst schmal und tief zu halten. Die Hauptlahnungen sollen die seitlichen Einzugsgebiete benachbarter Hauptentwässerungsgräben



ausreichend trennen, sie sind Stromleitwerken vergleichbar. Die Querlahnungen drücken die auf- und abflutenden Wassermassen den Hauptentwässerungsgräben mehr oder weniger zu — je nachdem sie dicht oder wasserdurchlässig sind. Die Oberkante der Lahnungen verläuft waagrecht 0,30 bis 0,40 m über MThw, so daß bei allen bis zu MThw auflaufenden Fluten ein Windschatten entsteht, in dessen Bereich die auf- und abschwingende Bewegung der Wassermassen gemildert und der Sinkstoffabsatz gefördert wird.

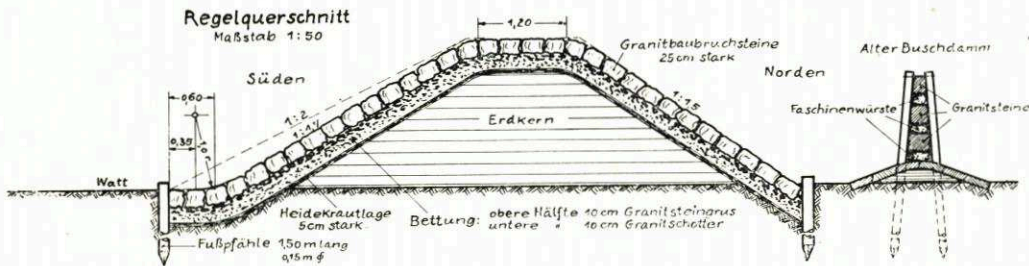
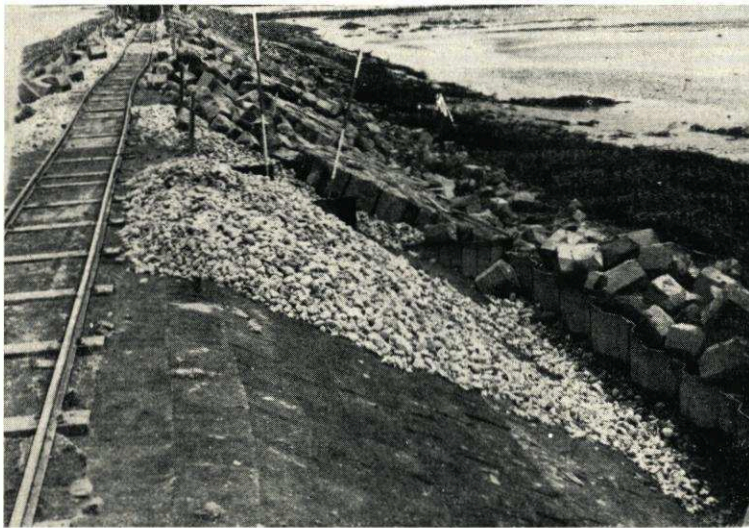


Abb. 23. Der Damm nach der Hallig Helmsand 1933, rechts die Buschlahnung von 1928



Aufn. E. WOHLLENBRG

Abb. 23a. Dammbau nach der Hallig Helmsand. Über dem Sandkern als Schutzmantel zwei Lagen Soden (Vordergrund), darüber Grand und Basaltsäulen. Juni 1936

Die in Abbildung 24 im Querschnitt dargestellten Lahnungen sind leichte, elastische Bauwerke; aber ganz ohne Widerstand gegenüber bewegten Wassermassen sind sie doch nicht. Sie müssen, wenn sie wasserdicht sind (Rasenerddämme) eine weiche Querschnittsform erhalten, damit sie Überflutungen ohne Schaden vertragen (Abb. 24, Skizze 1 und Abb. 25).

In steiler Form (Buschlahnungen, Abb. 24, Skizze 2—5) müssen sie im oberen Teil ziemlich weitgehend wasserdurchlässig sein, können jedoch trotzdem noch leichten Wasserübersturz verursachen, der auf der Leeseite durch Deckwerk aufzufangen bleibt. An den Lahnungen entlangziehende Strömungen greifen den Wattboden am Fuße der Lahnungen an und würden diese unterwaschen, wenn sie nicht durch Abweiser abgedrängt werden (Abb. 5, 12, 26 u. 29,

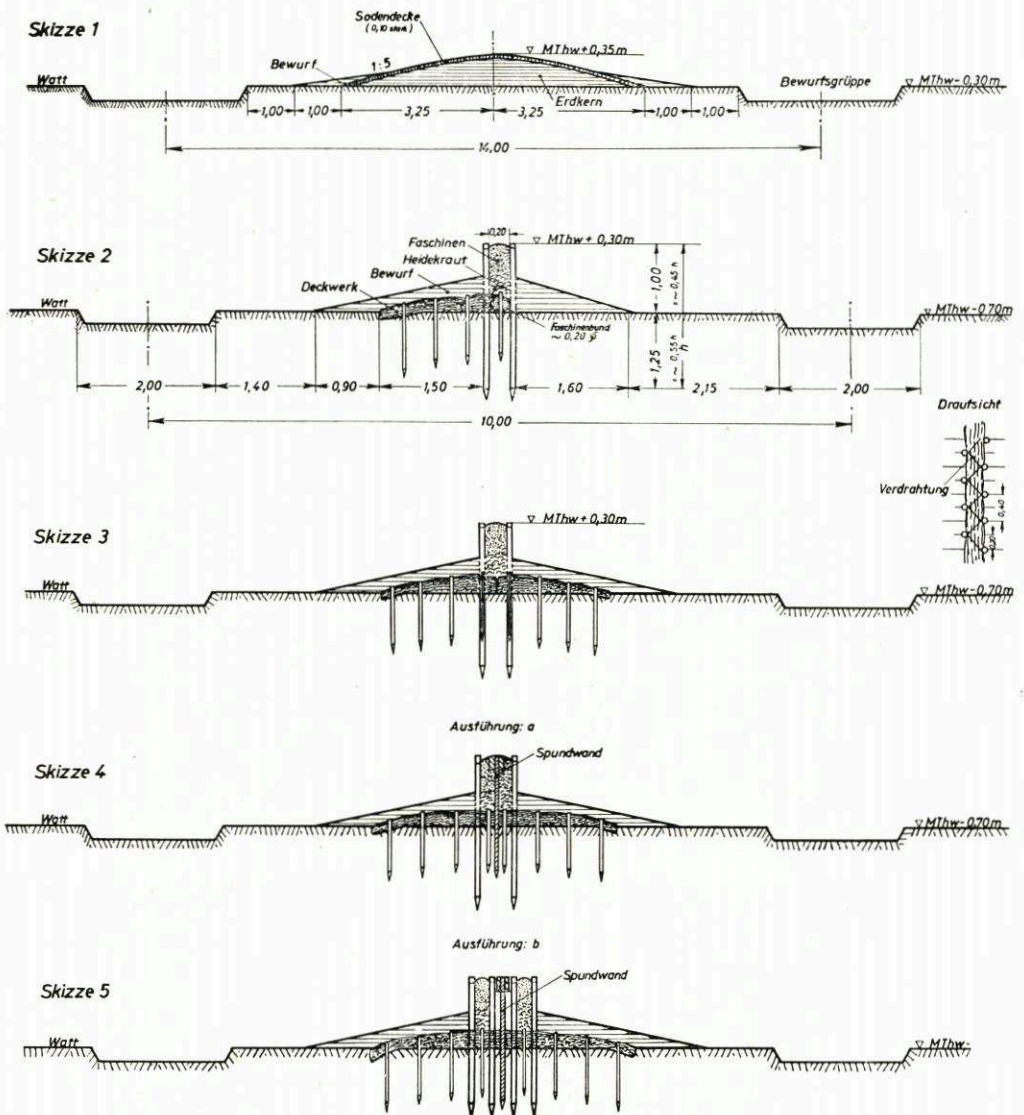


Abb. 24

- Skizze 1: Querschnitt eines Rasenerddammes (vgl. auch Abb. 25).  
 Skizze 2: Querschnitt einer Buschlahnung mit einseitigem Deckwerk und beiderseitigem Bewurf.  
 Skizze 3: Querschnitt einer Buschlahnung mit beiderseitigem Deckwerk und Bewurf, sonst wie Skizze 2, nur das Faschinenbündel ist nicht erforderlich. Die Stammenden der Deckfaschinenreiser werden unter der Füllmasse der Lahnung zusammengestoßen, und die ersten Deckwerkspfähle stehen in der Reihe der Lahnungspfähle in den Lücken (vgl. auch Abb. 27).  
 Skizze 4: Querschnitt einer Buschlahnung mit eingebauter Spundwand mit beiderseitigem Deckwerk und Bewurf. Der Lahnungsquerschnitt ist erweitert und die Spundwand in die Mitte der Füllung gesetzt.  
 Skizze 5: Querschnitt einer Buschlahnung. Die Spundwand steht zwischen zwei Lahnungen, ohne jedoch mit ihnen verbunden zu sein. Die Konstruktion ist vor dem Barlter Sommerkoog und vor dem Christianskoog mit gutem Erfolg angewendet worden (vgl. auch Abb. 28).  
 Bei Lahnungen, die nach S — W — N gerichtet sind, kann die Spundwand an der Ostseite einer einfachen Buschlahnung angeordnet werden, da bei Ostwinden keine hohen Wasserstände mit starkem Wellenschlag auftreten. Eine Fußsicherung durch Deckwerk ist auch hier erforderlich.



Skizze 1). Der Lahnungsfuß erhält zweckmäßig einen Wattbodenbewurf (die Hauptlahnungen beiderseitig, die Querlahnungen an der Landseite), damit er während der Ebbezeiten trocken steht; die Bewurfmassen schlämmen in eventuelle Deckwerke und den Unterteil der Buschlahnungen ein und dichten ihn in etwa 10 bis 15 cm über der Wattoberfläche. Der Bewurf kann fast alljährlich wiederholt werden, denn im Windschatten der Lahnungen ist der Sinkstoffabsatz am reichlichsten.

In Abbildung 29, Skizze 1 ist die dringend notwendige Abverlegung der Quergruppe von der Querlahnung und die Gestaltung ihres Bewurfs dargestellt; die Verfüllung der Winkel in der Lahnungskreuzung sollte immer sehr reichlich bemessen werden.



Aufn. E. WOHLBERG

Abb. 25. Rasen-Erdlahnung. Die Verlandungstendenz von der Erdlahnung zum umgebenden Watt ist bedeutend größer als bei einer Buschlahnung. Kronprinzenkoog, 19. 10. 1937

Die oben erwähnte Fußdichtung der Lahnungen (Abb. 27) bewirkt, daß das Flutwasser bis zur Höhe der Dichtung allein durch die Hauptentwässerungsgräben in das Lahnungsnetz einfließen und sich durch die Quergräben auf die Netzflächen verteilen kann; das bedeutet eine verstärkte Strömung in den Gräben, die auch spezifisch schwere Sinkstoffe mit in die ufernahe Wattzone führen kann und die Gräben tief und rein hält. Beim weiteren Steigen der Flut werden die Buschlahnungen mit durchströmt und nur die Sinkstoffe mitgeführt, die durch die hier etwas verminderte Stromgeschwindigkeit noch in der Schwebe gehalten werden können.

Die Stromgeschwindigkeit der Wassermassen ist also in und über den Hauptentwässerungsgräben größer als die allgemeine Wasserbewegung im Bereich der Lahnungen, die besonders durch die Querlahnungen ziemlich gehemmt wird. Während des Abebbens der Wassermassen ist ihre Stromrichtung umgekehrt, ihre Wirkung zugunsten der Vorflut aber größer als beim Auffluten, denn die Räumwirkung der Ebbwassermassen in den Hauptentwässerungsgräben gewinnt an Nachhaltigkeit.

Im älteren höheren Vorland sind zur Vorflutregelung außer den Hauptentwässerungsgräben und den Gruppen zur Oberflächenentwässerung auch in angemessenen Abständen zum Deichfuß hin etwas ansteigende besodete Erddämme erforderlich, die zugleich als Fluchtwege für die das Vorland beweidenden Herden zu dienen haben. Die notwendige und mögliche



Vorflutregelung im Vorland- und Anwachsgebiet ist aber nur erreichbar, wenn alle dazu erforderlichen Anlagen im Zusammenhang hergestellt, sorgfältig unterhalten und nach Bedarf vorgetrieben werden. Zur Wasserführung im weiteren Wattvorfeld können schwere Anlagen erforderlich werden, etwa zur Verhinderung des Übergreifens von Prieleinzugsgebieten ineinander.

Als Hauptbaustoffe für Buschlahnungen und Deckwerke haben sich bisher neben Heidekraut Nadelholzpfähle und Nadelholzreisig (am besten Fichten) als am dauerhaftesten erwiesen. Alles laubholzartige Reisig ist im Wechsel von Naß und Trocken sehr viel weniger haltbar.

Das Ausheben von Gruppen im Sandwatt ist eine heikle Angelegenheit. An sich sollte das bei Neuanlagen nur in der tidemäßig ruhigsten Jahreszeit geschehen, aber auch dann sind Fehlschläge nicht immer zu vermeiden (siehe Abb. 29, Skizze 2 und 3 und Abb. 30—32). Es empfiehlt sich, damit zu warten, bis sich auf den betreffenden Wattflächen bereits ein ziemlich dichter Quellerrasen entwickelt hat, in den der Aushubboden einrieseln und der diese Massen durchwurzeln und dadurch festhalten kann. Im allgemeinen können Grüpparbeiten erst von Nutzen sein, nachdem die Vorflutregelung im Lahnungsnetz gelungen und in seinem Bereich seine auflandende Wirkung zuverlässig sichtbar geworden ist; ein Zuviel an Grüpparbeit ist immer schädlich.

Skizze 4 in Abbildung 29 zeigt die sehr zweckmäßige Verengung der Auslauf-Enden der Gruppen; sie sollten nicht zu kurz gewählt werden.

Diese Profilverengung bei der Einmündung der Gruppe in den Quergraben muß bereits bei dem erstmaligen Aushub hergestellt werden. Nur auf diese Weise, d. h. durch Strömungsbeschleunigung im verengten Querschnitt kann das ohne Verengung regelmäßig eintretende vorzeitige Zuschlammern der Gruppenmündung weitgehend vermieden werden. Dieses Verfahren hat sich in der Praxis auf allen Wattarten sehr bewährt.

Bei Planungen eines Lahnungsnetzes mit „Inneneinrichtung“ (Begrüppelung usw.) sollte darauf Bedacht genommen werden, die Lauflängen der Gruppen und Quergräben im Anwachs und Watt auf höchstens 100 m zu beschränken — kürzer allerdings dürfen sie ohne Nachteil sein.

### c. Arbeitskräfte

Das natürliche Geschehen im Bereich der Gezeiten wirkt in der Regel mehr zerstörend als aufbauend. Darum bedürfen alle Anlagen, die zum Schutz der Küste gegen Abbruch erstellt werden müssen, auch dauernd der allersorgfältigsten Pflege und Unterhaltung. Weder ihre Herstellung noch ihre Unterhaltung werden jemals ohne jederzeitig verfügbare menschliche Arbeitskräfte möglich werden. Deshalb ist und bleibt eine gut eingearbeitete Stamm-Mannschaft erforderlich, die dem örtlichen Bedarf entsprechend in Küstennähe wohnt und verfügbar ist. Ohne sie ist auch der Einsatz unständiger Kräfte nicht nutzbringend zu gestalten.

Die im Küstenschutz anfallenden Handarbeiten sind überwiegend Schwerarbeiten, die nur körperlich ausgewachsenen, gesunden und klimagewohnten Männern zwischen 25 und 65 Jahren zugemutet werden können. Es ist nicht zu erwarten, daß die im Laufe der Jahre möglich gewordene Mechanisierung von Arbeitsvorgängen im Küstenschutz eine totale werden kann — der Spaten wird nie ganz entbehrlich werden und ebenso wenig die Hände, die ihn zu führen verstehen. Im Anwachsgebiet ersetzt der Spaten unter Nutzbarmachung der Räumkraft des Ebbewassers einen Bagger.

Die über ein halbes Jahrhundert alten Bemühungen um Vervollkommnung des Geräteparks und einiger Geräte haben bisher zu recht annehmbaren Ergebnissen geführt; eine ent-





Abb. 26  
Enges Netz von Buschlahnungen  
bei der Hallig Helmsand.  
Querlahnungen und Abweiser  
sind erkennbar. Im Hinter-  
grund der Fluchthügel  
Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 27  
Der Fuß der Buschlahnung  
erhält den notwendigen  
Bewurf mit Gröppenboden  
Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 28  
Kombinierte Spundwand- und  
Buschlahnung (vgl. auch  
Abb. 24 Skizze 5).  
Watt vor Ketelsbüttel  
Aufn. E. WOHLBERG

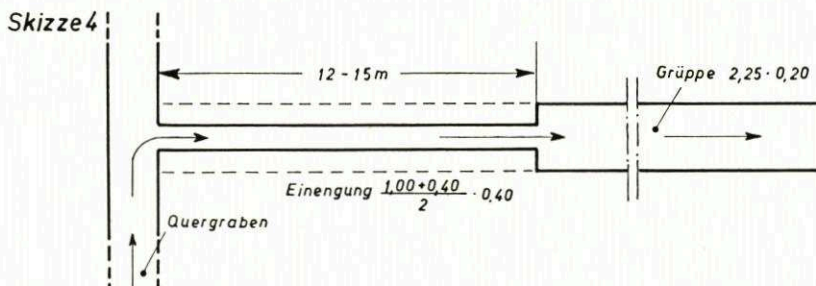
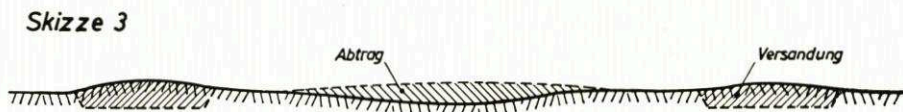
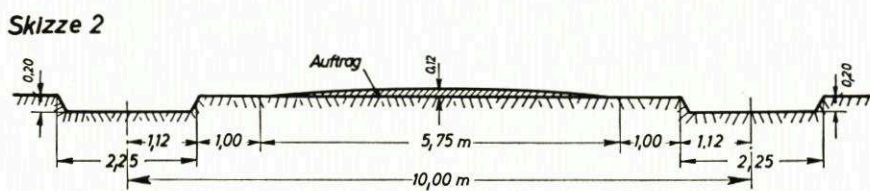
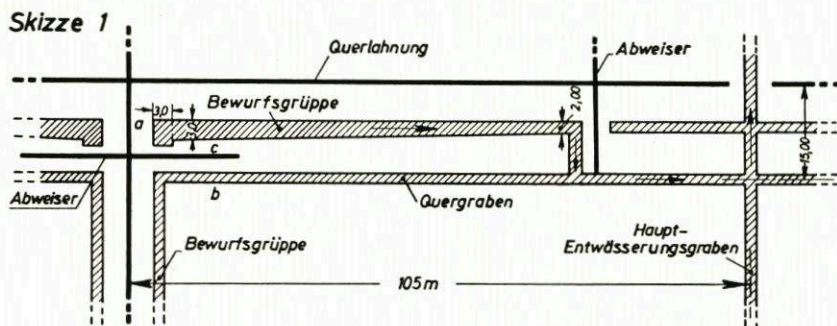


Abb. 29

Skizze 1: Bewurf einer Querlahnung. Der Bewurfboden für die Fläche a ist bei b zu entnehmen, wenn Karren und Karrdielen zur Verfügung stehen, sonst bei c.

Skizze 2: Erstmaliger Aushub von Gruppen.

Skizze 3: Im Sandwatt vorkommende Zerstörung der Anlage nach Skizze 2, wenn sie von unruhigen Tiden unmittelbar nach dem Aushub überfallen wird (vgl. auch Abb. 28–30).

Skizze 4: Mündung einer Grube in den Quergraben, Verengung der Ein- und Auslaufstrecke am unteren Gruppenende.





Abb. 30

Der größte Teil der Dithmarscher Watten ist von sandiger Beschaffenheit. Bei der ersten Begrüppelung ist der Spaten möglichst erst dann anzusetzen, wenn die erste Quellervegetation den Standort bereits durchwurzelt. Ohne Vegetation kommt es unmittelbar nach dem Aushub zu Rutschungen und Verschlammungen am Gruppenrand. Watt vor dem Kronprinzenkoog, 22. 3. 1937  
Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 31

Gruppenaushub im Sandwatt ohne Queller verfällt bereits nach einmaliger Überflutung der Aufzehrung. Barlter Schleuse, 17. 4. 1937  
Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 32

Im vegetationslosen Sandwatt verschlammten die Gruppen nach kurzer Zeit. Das Profil ist noch eben erkennbar. Ketelsbüttel, 10. 6. 1937  
Aufn. E. WOHLBERG



sprechende Gegenüberstellung von 1900, als zu kontinuierlicher Durchführung von Uferschutzmaßnahmen angesetzt wurde, und heute würde dies dazutun; als wesentliches und wichtigstes Stück wird der Arbeiterschaft die motorische Kleinst-Ramme gelten. Vor dem Einsatz von Gruppemaschinen im Sandwatt darf aber wohl noch gewarnt werden.

## II. Beweidung

### a. Schäfer, Schafe und Gänse

Die berufensten Bewirtschafter unbedeichter Vorländereien an der schleswig-holsteinischen Westküste sind im allgemeinen die Berufsschäfer mit eigener oder doch überwiegend eigener Herde, die ihre Lehr- und Gehilfenzeit in einer Vorlandschäferei abgeleistet und die Schäfermeisterprüfung bestanden haben. Sie wirtschaften auf eigene Gefahr, sind kundig in der Behandlung und Pflege ihrer Herden und werden am wenigsten versäumen, diese rechtzeitig zu bergen — auch wenn Böen und in deren Folge unzeitige Überflutungen eintreten. Solche sehr gefährlichen Ereignisse ahnt der erfahrene Außendeichschäfer sozusagen voraus und richtet sich darauf ein, indem er seine Herde vorsorglich in Deichnähe bringt, um sie nötigenfalls rasch an den See- oder Ringdeich zu treiben und dort bergen zu können. Er wird sich aber nicht auf seinen Instinkt allein verlassen, sondern seine Herde stets unter der Obhut eines zuverlässigen Hirten weiden lassen.

Ohne Schäfer, die es verstehen, ihre Herden rationell weiden zu lassen, ist keine dichte, kurze Vorland- und Deichnarbe zu erzielen. Aus solcher Vorlandnarbe allein können für Deichunterhaltungszwecke geeignete Soden gewonnen werden. Die Herde kann in der Hand des Schäfers ein Werkzeug sein, das er zeitweilig auf Flächenteilen einsetzen kann, deren Aufwuchs vom Weidevieh weniger gern genommen wird. Durch den Einsatz der Herde in zusammengehaltener Masse auf kleiner Fläche kann er auch recht weitgehend das Aufkommen von überständigen und auch von Hartgräsern bekämpfen.

Zur Beweidung unbedeichten Vorlandes nebst Anwachs sind nur Tierarten zuzulassen, die die Vorlandnarbe nicht durchtreten — also einmal keine Spuren hinterlassen, in denen Wasser stehenbleibt, das brackig wird und dem Weidevieh gefährlich werden kann, und zum anderen die Vorlandnarbe kurzhalten. Das ist auf dem ganz jungen, noch niedrigen Vorland und Anwachs nur von Schafen und Gänsen zu erwarten.

### b. Großvieh

Rinder und Pferde dürfen nur zum Mitweiden auf hochgelegenen Vorlandflächen zugelassen werden, und auch dort nur, wenn diese so eingefriedigt werden, daß den Schafen und Gänsen der Zutritt auch zu diesen Flächenteilen erhalten bleibt.

Pferde sind vom Mitweiden am Seedeich auszuschließen. Das Mitweiden von Rindern am Seedeich läßt sich nur in besonders liegenden Fällen ungefährlich und zugleich für die Deichnarbe nützlich gestalten, so etwa dort, wo eine kurze Deichstrecke an beiden Enden und gegen das Vorland so eingefriedigt werden kann, daß die Rinder nicht vom Seedeich entweichen können (Schafe müßten hier mitweiden). Eine wirksame Hütung der Rinder am Seedeich ist während der gewöhnlichen Weidezeiten der Jahre nicht zufriedenstellend durchzuführen, denn die Tiere gieren zu sehr nach der Vorlandweide, wo sie nicht freiweidend geduldet werden können. Hartgrashorste und sonstigen am Deich nicht zu dulgenden Aufwuchs nehmen sie nur an, wenn der Hunger sie dazu treibt. Solche Notlagen haben sich zuweilen ergeben, wenn die Futtermittel bei Wintersende nicht bis zur witterungsmäßig richtigen Aus-



triebszeit des Rindviehs im Frühjahr reichten. Mußte dann der Deich die Tiere ungehütet aufnehmen, dann bevorzugten diese die Binnenböschung, weil sie dort Windschutz hatten. Deichschäden waren die Folge.

Die Binnenböschung der Seedeiche mit Neigungen von 1 : 1,5 bis 1 : 2 ist zu steil und der Deichboden an der Dithmarscher Küste ist auch zu sandig, um darauf Rinder weiden lassen zu

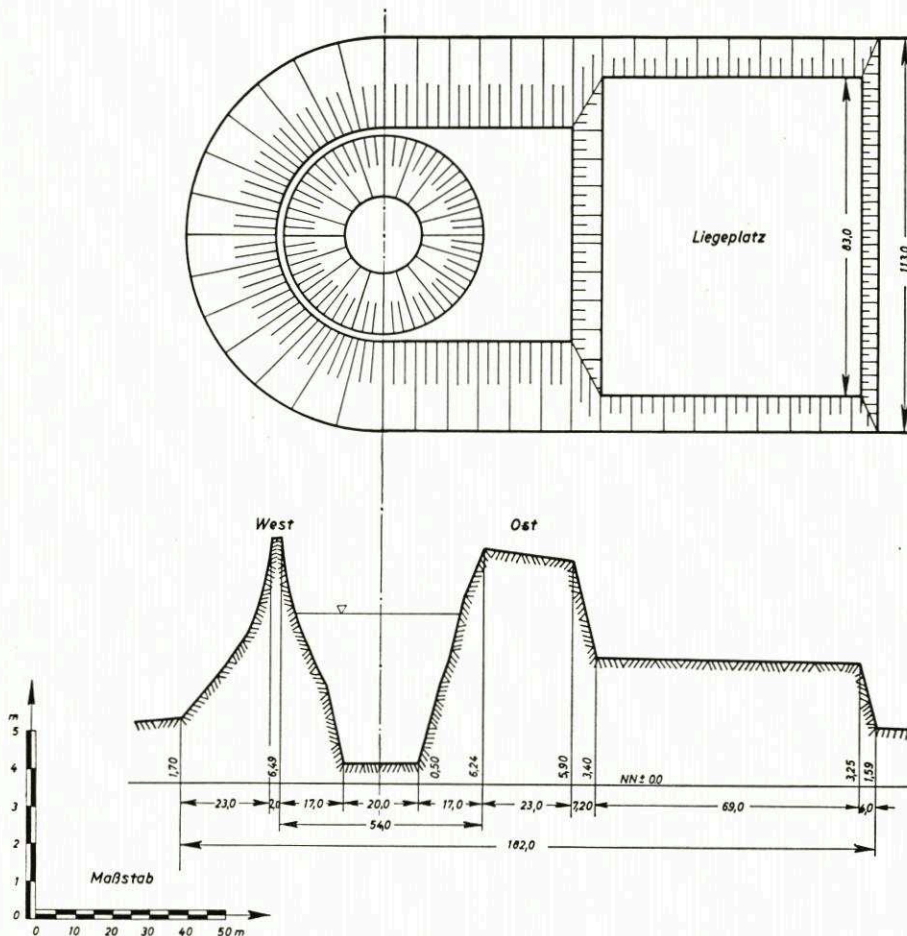


Abb. 33. Ringdeichtränke auf der Grünen Insel (Eidermündung) für eine Nutzungsfläche von etwa 200 ha Anwachs. Unten rechts der gegen sommerliche Hochfluten aufgeworfene Liegeplatz als erweiterter Schutzort (vgl. Abb. 34 und 35)

können; hier sollte — neben der Beweidung mit Schafen — unerwünschter Aufwuchs mit der Sense niedergehalten werden, und zwar mehrmals im Jahreslauf, damit auch die Samenbildung unterbunden wird.

Eine nicht kurzgehaltene, mehr oder weniger durch Obergräser verwahrloste Narbe der Deichaußenböschung läßt sich im frühen Frühjahr durch Beweiden mit Jungrindern wieder in Ordnung bringen, vorausgesetzt, daß die dazu erforderliche Herde verfügbar gemacht werden kann, hungrig eingesetzt wird, keinerlei Zufutter erhält und so gehütet wird, daß die Tiere weder auf die Binnenböschung noch auf das Vorland ausweichen können und in zusammen-

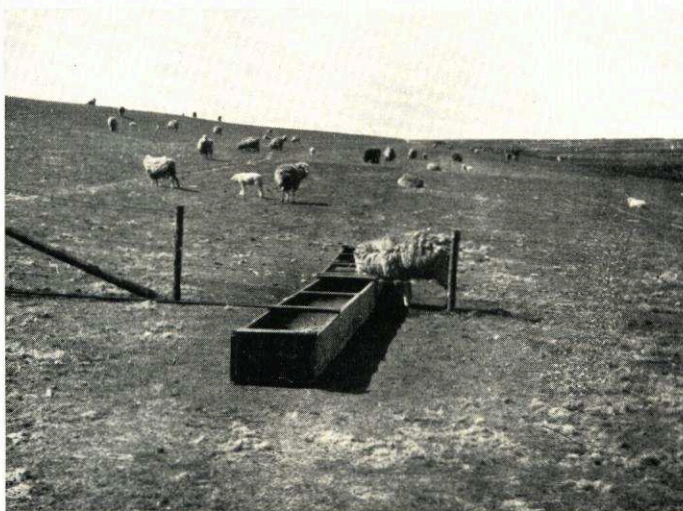
Abb. 34  
Ringdeichtränke und Schutzort  
auf dem jungen Anwachs  
bei der Grünen Insel unter-  
halb Tönning, heute mit  
Pumpe und Hochbehälter  
versehen  
Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 35  
Ringdeichtränke wie oben.  
Im Vordergrund das ostwärts  
(Lee) vom Ringdeich auf-  
geworfene und besodete  
Plateau als erweiterter Schutz-  
ort gegen sommerliche  
Hochfluten  
(Liegeplatz, vgl. Abb. 33)  
Aufn. E. WOHLBERG



Abb. 36  
Falsche, die Grasnarbe  
zerstörende Aufstellung eines  
Tränktroges an der Berme  
eines Außendeichs.  
Heute werden solche Tröge  
nur unterhalb der Berme  
(im Anwachs) zugelassen  
Aufn. E. WOHLBERG





gehaltener Masse ständig in weidender Bewegung gehalten werden. Ein gelindes Schwarztreten der Deichböschung kann dabei unbedenklich in Kauf genommen werden — der Viehtritt verdichtet die durch Frost gelockerte Deichnarbe wieder.

Läßt sich eine solche Maßnahme nicht durchführen, dann sollten die unerwünschten Obergräser und Unkräuter mindestens sehr frühzeitig und während der Weidezeit so oft wie nötig gemäht werden, damit die Samenbildung unterbleibt und das Wachstum der Untergräser in der Deichnarbe nicht behindert wird.

### III. Tränkwasser-Versorgung

Die ausreichende Versorgung des Weideviehs auf den Seedeichen und Vorländereien mit gutem Tränkwasser ist so wichtig, wie sie im allgemeinen noch schwierig ist, denn brauchbares Grundwasser ist in der Seemarsch nicht oder doch nur ausnahmsweise vorhanden. Zur Deckung des Wasserbedarfs der Herden ist also das Auffangen und Speichern von Niederschlägen in offenen Kühlen notwendig, das sind:

- a) Im unbedeichten Vorland, das inselartig ohne Verbindung mit dem Festland ist, hochflutfrei umdeichte Kühlen, sogenannte Ringdeichtränken (Abb. 33—35),
- b) im Binnenlande und in Sommerkögen Kühlen, die mit ihrem Aushubboden etwa 0,80 m hoch umwallt werden.

#### a. Im unbedeichten Vorland

Die Anlagen müssen einen hochflutfreien Raum (Liegeplatz) erhalten, auf den die zugehörige Herde bei Überflutungen des Vorlandes geborgen werden kann (Abb. 34 und 35 vorne). Er wird dem Ringdeich gegen Osten angebaut, ist aber immer nur ein Notbehelf, denn es kommt auch während der Weidezeit vor, daß das tiefere Vorland während der Ebbezeit nicht flutfrei wird; dann fehlt die erforderliche Notweide. Die Höhe der Ringdeiche kann zur Zeit noch mit  $M_{Thw} + 5,20$  m als ausreichend gelten.

Für die das Vorland vor den Seedeichen beweidenden Herden müssen außer den Wasserspeichern auch ausreichende hochflutfreie Schutzflächen vorhanden sein. Die dazu erforderlichen Anlagen erhalten zweckmäßigerweise ihren Platz innerhalb der Seedeiche — möglichst unmittelbar am Seedeich. Hier können die Herden auch sicher gehürdet werden und während der Stürme Notweide erhalten — etwa 2 bis 3 ha. Die Deichaußenböschung sollte nicht oder doch nur sehr vorsichtig gehürdet werden.

Vor Neufeld/Nordhusen an der Elbmündung hat das Elbwasser und das in dem dort umwallten Vorlandteil aufgefangene Niederschlagswasser zur Tränkung der Herden ausgereicht.

#### b. In den Sommerkögen

In den Sommerkögen werden die Tränken in Überflutungsfällen versalzen — sofern die Fluten die Umwallungen übersteigen. Dann ist ihre Entleerung und Reinigung von Schlamm erforderlich. Tritt ein solcher Fall kurz vor oder zu Beginn der Weidezeiten ein und fallen nicht schnellstens ausgiebige Niederschläge, dann ist die Wasserversorgung gefährdet.

Der notwendige Wasserbedarf der Herden — namentlich der Schafherden — ist bescheiden, aber das Wasser, das ihnen geboten wird, muß saubergehalten werden. Dazu, und um Wasserverschwendung zu vermeiden, empfiehlt es sich durchaus, das täglich benötigte Wasser mit Pumpen aus den Tränken zu ziehen und es den Herden in sauber zu haltenden Trögen zu

bieten (Abb. 36). Es ist den Tieren auch da zu bieten, wo sie weiden, denn die Wege zwischen Tränktrog und Weideplatz kosten Fleisch und beschränken die Ruhezeiten der Herden um so mehr, je länger die Wege sind. Es sind auch Vorkehrungen erforderlich, die das Einschwemmen von Dung in die Wasserspeicher verhindern. Sauberes Tränkwasser und saubergehaltene Liegeplätze der Herden sind neben ausreichender Weide die Voraussetzungen für das Gedeihen der Herden und zur Gewinnung sauberer Wolle und Federn.

### c. Wasserleitung

Mit Leitungswasser (Grundwasser) sind bisher nur die Hürden und das Vorland vor dem Dieksanderkoog versorgt. Das Wasser kommt von der Geest über Marne und über die Druckstation im Koog in die Hürden und ins Vorland. Das Niederschlagswasser aus Wasserstellen kann zweckmäßigerweise mit Pumpen in Behälter, die in Deichhöhe aufgestellt werden, gehoben und von da aus in Tränkröge, die auf dem Vorland verteilt aufzustellen sind, geleitet werden.

Unter dem Barlter- und Alten Meldorfer Sommerkoog wie auch auf Helmsand ist in einer Tiefe von 27 bis 30 m gutes Tränkwasser erbohrt worden, das vielfach mit Handpumpen und Windrädern in Tränkröge gefördert wird. Nördlich der Außenmiele und in Norderdithmarschen in Küstennähe haben Bohrungen nach brauchbarem Tränkwasser keinen Erfolg gezeigt. Eine allgemein zufriedenstellende Wasserversorgung der Vorländereien an der Nordseeküste ist erst dann möglich, wenn die gesamte Seemarsch mit brauchbarem Leitungswasser versorgt ist.

Jahreszeitlich gesehen ist die ausreichende Versorgung der Herden mit sauberem Wasser besonders während der Zeit der Hundstagshitze von großer Bedeutung. In diese Zeit fällt die Abgewöhnung der Sauglämmer von der Mutter, deren Milch den Trinkbedarf der Lämmer nicht mehr voll deckt und schließlich ganz versiegt. Zur gleichen Zeit werden die Vorländereien schon nicht selten überflutet, und es fällt Gewitterregen. Das führt zu Brackwasserbildung dort, wo etwa in Fußspuren und nicht rasch genug entwässernden Niederungen Wasser stehen bleibt (Abb. 9. u. 10 auf S. 101). Wo die Vorlandnarbe nicht kurzgehalten ist, bildet sich ein von Sinkstoffen und Algen verschmutzter Filz, unter dem die Gräser für das Vieh ungesund sind. Vom Durst und Hunger getrieben, gehen die Lämmer an das brackige Wasser oder die ungesunden Gräser heran, und die Folge kann auch heute noch ein großer Verlust von Junglämmern sein; Brackwasser ist für sie Gift und Wassergräser vertragen sie ebenfalls nicht. Wie es damit vor rund 100 Jahren in Süderdithmarschen bestellt war, hat Domänenrat MÜLLENHOFF (1903, S. 23 u. a.) in seiner Geschichte der domänenfiskalischen Sommerköge in Süderdithmarschen erwähnt:

*„daß bis zum Jahre 1857 das gesamte Vorland aus lauter Mulden bestand, die höchst mangelhaft entwässert waren und daher ungesundes Futter erzeugten und daß erst damals zu einer planmäßigen Begrüppung des Vorlandes, der Sommerköge und des Christianskooges (1845 bedeicht) geschritten wurde und damit das Sterben ganzer Schafherden aufhörte.“<sup>3)</sup>*

## IV. Verwaltung

### a. Entwicklung der Verordnungen

Die staatseigenen Vorländereien an der Dithmarscher Küste zählten um die letzte Jahrhundertwende zu den Streugrundstücken der Domänenverwaltung; erst nach Einrichtung der

<sup>3)</sup> Die Schrift ist im Buchhandel nicht mehr erhältlich.



Marschenbauämter (1936) wurden sie in baulicher Beziehung der Wasserwirtschaftsverwaltung unterstellt.

Die natürlichen Verhältnisse dieser Streugrundstücke, ihre stets in der Veränderung begriffenen Flächengrößen des Vorlandes — die sehr kurzfristige Neueinteilung der Vorlandpachtstücke bedingt — erforderte Verpachtungsbedingungen, die diesen Umständen einigermaßen Rechnung trugen. Das waren:

*„Allgemeine Bedingungen für die Verpachtung der Preussischen domänen-fiskalischen Einzelgrundstücke (nicht zu Vorwerken gehörenden Streugrundstücke) 1902.“*

Dazu gehörten auch die jetzt noch dem Staate verbliebenen Deiche der zweiten Linie, die an Kleinlandwirte und Arbeiter in Teilen verpachtet sind, deren Größe zwischen etwa  $\frac{1}{4}$  bis 1 ha schwankt. Die genannten Bedingungen waren auf Vereinfachung und Beschränkung des Verwaltungsaufwandes ausgerichtet, und sie gestatteten die Zusammenfassung vieler Einzelpachtstücke gleicher Art in sogenannten Sammelpachtverträgen. So konnten z. B. die rund fünfzig Pachtstücke des Barlter Sommerkooges — wenn deren Pachtzeiten gleichzeitig endeten — in einem Pachtvertrag verpachtet werden. Die Ausbietung der Pachtstücke geschah öffentlich. Der Verpächter (Regierungspräsident, Domänenverwaltung) behielt sich die Auswahl unter den drei Bestbietenden und die Zuschlagserteilung vor. Der Ausbietungstermin wurde durch die Presse bekanntgemacht. Nachdem im Ausbietungstermin die Verpachtungsbedingungen verlesen und erläutert, zur Abgabe von Geboten aufgefordert und die drei Bestbietenden ermittelt waren, wurden deren und ihrer selbstschuldnerischen Bürgen Namen in das der Versteigerungsverhandlung angeheftete Pachtstücksverzeichnis eingetragen und von den Bieter und ihren Bürgen unterschrieben. Nachdem der Regierungspräsident über die Zuschlagserteilung bzw. Ablehnung der Gebote entschieden hatte, wurden Bieter und Bürgen entsprechend benachrichtigt, und der Pachtvertrag war geschlossen. Die Pächter erhielten und verlangten auch keine Ausfertigung ihres Vertragsteiles, sie kannten seinen Inhalt ziemlich genau auswendig, und wenn jemandem zuweilen Zweifel auftauchten, dann nahmen sie Einsicht in die Vertragsabschriften beim Domänenrent- und Bauamt oder den Außenbaustellen dieses Amtes.

Bei Ausfällen von Pächtern durch Tod oder andere Umstände wurde die Pachtung auf einen der Erben im Wege der niederschriftlichen Verhandlung unter dem Vorbehalt der Genehmigung des Regierungspräsidenten in Schleswig übertragen. Dieses Verfahren ist bis Ende der dreißiger Jahre üblich gewesen, hat auch die Pächterschaft befriedigt und war in hohem Grade arbeit- und zeitsparend. Es ermöglichte auch einen so rechtzeitigen Abschluß der notwendigen Maßnahmen, daß es etwa ausgetretenen Pächtern noch gelingen konnte, sich mit Erfolg anderweitig um Pachtland zu bemühen. (Wegen der geeignetsten Pächter der Vorländereien und der Seedeiche siehe Seite 116.)

#### b. Interessen des Staates

Der Staat als Vorlandeigner ist an der Höhe der Pachtpreise für die Vorländereien mindestens soweit interessiert, daß sie die Pächter mit zur rationellen Nutzung ihrer Pachtstücke nötigt, mehr ist aber auch nicht nötig; denn es ist durchaus wichtig, daß die Vorlandpächter aus den bei ausreichend scharfer Nutzung ihrer Pachtstücke anfallenden Erzeugnissen nicht nur ein Durchkommen, sondern auch ein wirtschaftliches Vorankommen erzielen können.

#### c. Interessen der Deich- und Sielverbände

Die Deichverbände benötigen reifes, gut bewirtschaftetes und gepflegtes Vorland zur Gewinnung von Soden und Boden für die Unterhaltung ihrer Seedeiche.



Die Sielverbände, die die überschüssigen Wassermassen ihrer im Deichschutz belegenen Grundstücke nach außendeichs zu schaffen genötigt sind, bedürfen dazu leistungsfähiger Vorfluter, die durch das Vorland und den Anwachs zu führen und dort tief zu halten sind. Dieses Tiefhalten kann entweder durch Baggerung, aber besser durch Spülung mit außendeichs zusammengeleiteten Ebbwassermassen bzw. binnendeichs gespeichertem Wasser geschehen, das zur Zeit der Hohlebbe abgelassen wird. Die Spülkraft der Binnenwassermassen allein ist aber meistens zur Räumung der Außenvorfluter nicht ausreichend, und diese Wassermassen fehlen nicht selten wochen- und monatelang fast gänzlich. Es ist daher nützlich, den Außenvorflutern der Sielverbände Ebbwasser aus dem Vorland und Anwachs zuzuleiten, das täglich zweimal anfällt, also immer wirksam gehalten werden kann.

## C. Die Deiche

### I. Sommerdeiche und Sommerköge

Hier sei vorweg darauf hingewiesen, daß die Breite des im Zuge erfolgreicher Durchführung von Uferschutzmaßnahmen entstehenden Vorlandes nicht unbegrenzt sein kann, denn mit der zunehmenden Vorlandtiefe nehmen auch die Breiten der Gräben, in denen die das Vorland beflutenden Wassermassen auf- und abzuführen sind, ebenfalls fortschreitend zu, wie auch die mit der Nutzung des Vorlandes verbundenen Gefahren für die darauf weidenden Herden. Die in dieser Hinsicht noch vertretbare Vorlandtiefe kann aber nur in seltenen Fällen eine Winterbedeichung des Vorlandes rechtfertigen. Um aber die Nutzung des Vorlandes gefahrloser und zugleich ertragreicher zu gestalten, mag seine Sommerbedeichung in Erwägung gezogen werden.

Dann würden die Wassermassen, die bis dahin diesen Vorlandraum befluten, ihre mitgeführten Sinkstoffe vor dem Sommerdeich absetzen und eine neue Phase der Verlandung einleiten; eine rechtzeitig durchgeführte Sommerbedeichung kann als Station auf halbem Wege zu einer lohnenden Winterbedeichung bezeichnet werden, die den Sommerkoog mit einfaßt.

Der Weidewert von sommerbedeichten Vorlandflächen wird durch die Bedeichung gegenüber den gänzlich unbedeichten Vorlandflächen auf das drei- bis vierfache gehoben, wobei die mit der Bewirtschaftung von Sommerkögen noch verbundenen Gefahren berücksichtigt sind; das sind etwa zwei Drittel des Weidewertes von Binnen-Marschweiden gleicher Bodengüte.

Der Mehrertrag wird in wenigen Jahren nach der Sommerbedeichung erreicht und fällt in den Jahrzehnten, die bis zur Einbeziehung des Sommerkooges in eine Winterbedeichung vergehen, Jahr für Jahr an.

Eine Sommerbedeichung von Vorland ist also in mehrfacher Hinsicht vorteilhaft:

1. die Anlandung erhält vor dem Sommerdeich neuen Impuls;
2. die Bewirtschaftung des von der Bedeichung betroffenen Vorlandes kann ohne größere Gefährdung vorgenommen werden;
3. der Ertrag dieses Vorlandteils, der den Aufwand für den Deichbau und die Inneneinrichtung des Sommerkooges nebst Unterhaltung volkswirtschaftlich rentabel gestaltet, wird erhöht und
4. die Sommerbedeichung ist die meistens notwendige Vorstufe, um zu einer lohnenden Vollbedeichung (Winterdeich) zu gelangen.

Außerdem darf nicht unerwähnt bleiben, daß die hinter dem Sommerkoog verlaufende Seedeichstrecke eine sehr beachtenswerte Entlastung durch den Sommerdeich erfährt. Wo der Seedeich an der Nordseeküste durch Sommerköge mit MThw + etwa 3,00 m hohen Deichen gedeckt ist, bleibt der Wellenauflauf am Seedeich hinter bordvoll überfluteten Sommer-



kögen um 1,00 bis 1,50 m niedriger als an der freien Küste, und der Körper des Seedeichs erleidet dort keine Fluteinhiebe. (Bordvolle Überflutung der Sommerköge ist durchaus nicht die Regel; es bleibt in den meisten Sturmflutfällen bei unterschiedlich hoher Überschwemmung der Sommerkoogsflächen.)

Sommerköge sind da, wo im Binnenlande hauptsächlich Ackerwirtschaft betrieben wird, eine Ergänzung des Raumes der Binnenlandwirtschaft, in dem sie den dortigen Betrieben die Anpachtung von Weideflächen für Milchkühe und Aufzuchttrinder, evtl. auch für ruhig gehende Pferde in beschränkter Zahl ermöglicht.

Die Beweidung der Sommerköge ist durchweg von Anfang Mai bis Ende Oktober und teils darüber hinaus möglich. Während des Spätherbstes und Winters bis etwa Mitte März könnten dort auch Schafe ziemlich gesichert weiden, ohne der Sommerweide zu schaden.

Dem Umstand, daß Sommerköge ab und zu überflutet werden, ist in ihrer Binneneinrichtung Rechnung zu tragen. Die Deich- und Binnensiele wie auch die Wasserzüge im Koog sind so zu bemessen und zu bedienen, daß sie bei bordvoller Überflutung der Köge eine Entleerung innerhalb von etwa sechs bis acht Tagen zulassen. In dieser Hinsicht ist die Bedienung der Siele besonders wichtig. Es ist keine Auslaßmöglichkeit zu versäumen, es darf aber auch keine Überbeanspruchung des Deichsiels stattfinden. (Die Binnensiele sind in der Zeit, in der mit Überflutungen zu rechnen ist, evtl. offenzuhalten.) Zuverlässig regelbar ist der Wasserauslaß nur durch ein Schütz im Deichsielschlauch (der innen glatte Wände ohne in den Schlauch vorspringende Ständer oder Rahmenhölzer haben sollte), wenn dieses auch beim höchsten Binnenwasserstand bedienbar, also in der Deichkrone angebracht ist. Das Windewerk des Schützes muß so leistungsfähig sein, daß es beim höchsten Unterschied der Wasserstände in beiden Richtungen bewegt werden kann. Der Sielwärter muß während der Auslaßzeit ständig am Siel sein und den Auslaß richtig regeln. Das Schütz soll auch Außenwasser abwehren, wenn die Fluttore versagen und im Sommer Binnenwasser halten, wenn dieses möglich ist.

Domänenrat MÜLLENHOFF hat für überdeichte Sommerkoogsiele Holzkonstruktion empfohlen, weil sie bei der Entleerung der Köge Erschütterungen ausgesetzt sein können, die Massivbauten zu seiner Zeit zerstört haben würden. Heute würde Stahlbeton-Bauweise angewandt werden — auch für die Außenvorsiele; diese sollte man ohne die den Wasserabfluß sehr hindernden Spannbalken bauen; sie erzeugen sehr gefährliche Wasserwirbel im Vorsiel und hindern die Wassermassen am Geradeausfließen. Nicht überdeichte Auslässe mit selbsttätigem Klappenverschluß, sogenannte Stöpen, waren zu MÜLLENHOFFS Zeit (Mitte des 19. Jahrhunderts) nur auf tiefgründigem Kleiboden und mit schwergepflastertem Auslauf nebst Sturzbett stand-sicher. Daneben sind aber überdeichte Siele nicht entbehrlich.

Die Innenböschung der Sommerdeiche sollte nicht steiler als 1 : 3 gewählt werden, sie (und auch die Binnenberme) sind in jedem Falle zu besoden. Die Binnenberme sollte nicht unter 7,0 m breit sein, und an ihrer Koogseite sollte kein Graben und noch weniger ein Wasserzug angelegt werden. Die Außenböschung wird zweckmäßig bis hinauf zu MThw + 2,50 m 1 : 8 bis 1 : 10, darüber hinaus 1 : 6, die Kronenbreite 1,20 bis 1,50 m angelegt.

Von der Höhe des Sommerdeiches hängt einmal die Häufigkeit der Überflutungen und zum anderen die Masse der evtl. auszuschleusenden Wassermassen ab. Bei gleicher Koogsfläche bedeutet langer Deich schnellere, kürzerer Deich langsamere Füllung des Kooges; dies ist hinsichtlich der Vorbereitung der Maßnahmen zur Bergung des Weideviehs in Überflutungsfällen zu beachten.

Zur möglichst sicheren Bergung des Viehs sind zum Seedeich hin ansteigende Triftdämme und Wege erforderlich. Die Bergung des Viehs kann aber nur mit einiger Sicherheit gelingen, wenn es bereits auf diese Fluchtwege gebracht ist, ehe das Wasser den Deich zu übersteigen



beginnt. Daß sich solche Vorkehrungen oft als nicht nötig erweisen, muß in Kauf genommen werden.

Trifft die Überflutung auf einen regennassen Koogsboden, was im Herbst meistens der Fall ist, so ist sie kaum schädlich und erweist sich meistens im nächsten Jahre als eine Düngung der Weideflächen. Sie kann namentlich eine üppige Entwicklung des Weißklee zur Folge haben; schädlich ist sie dagegen, wenn der Koogsboden ausgetrocknet ist.

Die Oberflächenentwässerung der Sommerköge erfordert offene Gruppen. Dränung ist nicht zu empfehlen, weil sie Salz in den Unterboden bringen würde.

Sommerköge sind nicht besiedelbar und sollten nur als Weide — hauptsächlich für Rinder — genutzt werden. In den fiskalischen Sommerkögen in der Meldorfer Bucht weideten im Durchschnitt zwei Stück Großvieh (je 500 kg) je ha bei jährlich sechsmonatiger Weidezeit.

Neu eingedeichte Sommerköge sind zur Erzielung einer guten Weidenarbe mit Süßgräsern anzusäen, nachdem die Salzgrasnarbe mit einer scharfen, evtl. beschwerten Wiesenegge geöffnet wurde. Das Saatgemenge und das Mengenverhältnis kann etwa folgendes sein bei einem mittleren Gebrauchswert von rund 85 ‰: Deutsches Weidelgras 80, Gemeines Rispengras 4, Weißes Straußgras 2 und Weißklee 10 Gewichtseinheiten. Die Saat ist anzuwalzen.

Die Salzgräser kümmern, gehen teils ein und stellen sich auf die neuen Verhältnisse mehr oder weniger um; gelegentliche Überflutungen sorgen indes dafür, daß sie nicht ganz verschwinden; schädlich sind sie dem Weidevieh nicht.

Den Sommerkoogflächen muß dieselbe Pflege zuteil werden, wie sie für zweckmäßig beweidete Binnenlandweiden üblich ist: laufende Fladenverteilung während der Weidezeiten, Mähen der Distel und Geilstellen, Einebnen und Eineggen von Maulwurfshügeln und Gruppenaushubmassen usw.

Werden Flächenteile ausnahmsweise zur Heugewinnung gemäht, so sollte das nicht ohne nachherige Düngung mit Phosphorsäure und hochprozentigem Kali gestattet werden; Stickstoffgaben sollten, wenn solche überhaupt gegeben werden, nur sehr gering bemessen sein.

## II. Winterdeiche (Landesschutzdeiche)

Hier soll zwar nur die Nutzung und Pflege der Deiche behandelt werden, aber den dazu erforderlichen Möglichkeiten ist bereits bei ihrer Planung und ihrem Bau Rechnung zu tragen. Kein Deich der bisherigen Bauart ist unterhaltbar, wenn nicht die zu seiner Unterhaltung erforderlichen Baustoffe — Soden und Boden — in ausreichendem Maße vorrätig gehalten werden (vgl. Abb. 1 u. 2 auf S. 96). Darum ist beim Bau eines Deiches — ganz gleich ob Sommer- oder Winterdeich — eine für seinen Unterhaltungsbedarf ausreichende gutbenarbte Vorlandfläche unberührt zu lassen.

Diese Vorsorge ist wichtiger als der Deichbau selbst. Der größte Teil des Deichbodens kann aus Sand oder sonstigem toten Boden bestehen — der aus der Tiefe des Watts geholt werden kann — aber für die Deckschicht der Deichböschungen ist fruchtbarer Boden in einer Stärke von etwa 0,40 m — also gewachsener Vorlandboden — erforderlich. Die Beschaffung der Soden ist sowohl beim Bau als auch bei der Unterhaltung der bisherigen Seedeiche die am schwierigsten zu lösende Aufgabe. Darum sollte beim Deichbau keine Sode unter dem Deichkörper nutzlos verschüttet und es sollten auch die Soden von den in der zu bedeichenden Koogfläche anzulegenden Wegen und Gräben für die Sodendecke des Deiches mit verwendet werden; eine Maßnahme, die sich mehrfach lohnt.

An der Dithmarscher Küste erfordert auch die Binnenböschung der Seedeiche eine volle Besodung, damit ihre Beweidung mit Schafen ohne Schaden geschehen kann. Zum Ansäen ist



der Deichboden dort ohne besondere Kleiabdeckung zu sandig, als daß ein solches Vorhaben zum Erfolg führen kann — auch wenn die Böschung flacher als 1:2 wäre, würden Regengüsse schon zu Abspülungen von Bodenmassen aus der Binnenböschung führen. Auch darauf sollte bei der Planung von Seedeichen in Dithmarschen Rücksicht genommen werden.

Eine ziemlich scharfe Beweidung — fast ausschließlich mit Schafen — ist die geeignetste Art der Deichnutzung, und sie ist zugleich ein sehr wichtiger Teil der Deichpflegemaßnahmen.

Der zweite Teil der Deichpflege ist die laufende Unterhaltung des Deichkörpers mit Soden und Boden.

Der dritte Teil ist die Sauberhaltung der Deichaußenböschung von Treibsel und sonstigem Seeauswurf sowie die Bekämpfung von Schädlingen tierischer und pflanzlicher Art in der Deichnarbe.

#### a. Beweidung und Ausbesserung durch Soden

Bei der Beweidung der Deiche wird die Deichnarbe ausreichend gedüngt und dichtgetreten, ohne sie zu verletzen.

Wenn die Deiche auch die nächsten Fluchtorte für die auf den Vorländereien weidenden Herden in Überflutungsfällen sind, sollten sie den Herden doch nicht als Hürden während der Nachtzeit dienen.

Die alljährliche Hauptunterhaltung der Deiche gerät am wirksamsten, wenn sie bis Ende Mai durchgeführt wird. Namentlich die einzubauenden Soden wachsen bis dahin am sichersten an und auch einzubauende Bodenmassen verbinden sich dann inniger mit dem Deichkörper als in späterer Jahreszeit.

Es ist zweckmäßig, den flachen unteren Teil der Deichaußenböschung bald nach dem Frostaufgang mit einer schweren Walze zu überrollen, damit die Wurzeln der vom Frost angehobenen Pflanzen der Deichnarbe wieder Bodenschluß erreichen. Dabei werden zugleich die Gänge der Wühlmäuse und Maulwürfe eingedrückt.

Die einzubauenden Soden sollten nur frisch gewonnen und auf reichlich feuchtem, mit der Harke aufgerauhtem Planum angesetzt und danach mit Ausspurerde<sup>4)</sup> bestreut werden. Überschüssige Ausspurerde sollte nicht vom Deich entfernt werden; auf der Deichnarbe ausgestreut, rieselt sie in die Narbe ein oder sie wird von Fluten in diese eingewaschen. Beim Sodeneinbau dürfen die Schlußsoden der einzelnen Sodenflicken nicht spundartig<sup>5)</sup> geformt werden.

Je kleihaltiger, also je besser die Soden an sich sind, desto mehr unterliegen sie dem flächenmäßigen Schwund in Trockenzeiten; die entstehenden Fugen sind mit Ausspur- oder milder Vorlanderde zu verfüllen — evtl. wiederholt. Geschieht das nicht, so besteht die Gefahr, daß sie krumm trocknen und von auch nur leichten Fluten aus ihrem Bett geworfen werden. Regenfälle lassen sie wieder ausquellen und sichern ihre Haftung in der Sodendecke.

Die stark sandige Struktur der Dithmarscher Vorlandböden und der darauf gewachsenen Soden hat zur Folge, daß nach der Generalüberholung der Deiche im Frühjahr noch Sodenkleinschäden entstehen. Die Ausbesserung dieser Schäden darf nicht aufgeschoben werden, weil sie sonst an Umfang zunehmen und zu Bodenschäden führen können, was bei guten Kleisoden kaum zu befürchten ist.

Bei schweren Sturmfluten im Herbst und Winter entstehen meistens einige Großschäden an den Deichen, die dann einen Notverbau erfordern, der bis zur Frühjahrszeit bestehen-

<sup>4)</sup> Unter Ausspurerde versteht man die zum oberflächengleichen Einbau neuer (8—10 cm starker) Soden in die Deichdecke etwa auszuhebende Deichbodenmasse.

<sup>5)</sup> spundartig = die Schräge der Kante der letzten Sodenreihe einer Ausbesserungsstelle soll nicht abgestochen werden.



bleibt. Erst dann wird er beseitigt und durch den Einbau von Boden und Soden die bestickmäßige Deichböschung wieder hergestellt.

Neben solchen Großschäden fallen aber gewöhnlich auch zahlreiche Kleinschäden an der Sodendecke der Deiche an. Derartige Schäden sind sofort auszubessern, damit sie nicht größer werden — was andernfalls durchaus zu befürchten ist; zwischen zwei Fluten läßt sich eine Vielzahl von Einzelsoden gewinnen und einbauen, wenn man darauf vorbereitet ist, und vom September an muß man auf alles vorbereitet sein.

#### b. Entfernung der Spülsäume (Treibsel)

Die Entfernung des Treibsel und sonstigen Seeauswurfs von den Außenböschungen der Deiche ist eine Maßnahme, die nach jeder über den Deichfuß hinaus auflaufenden Flut durchzuführen ist, denn unter dem zurückbleibenden, mit Wasser stark durchtränkten Treibselstrich erleidet die Deichnarbe Schaden, je länger er unberührt liegen bleibt, desto mehr.

Die in dieser Hinsicht erlassenen Vorschriften zur Fortschaffung des Treibsel vom Deich sehen dafür ziemlich kurzfristige Termine vor, deren buchstäbliche Innehaltung kaum ohne Beschädigung der Sodendecke der Deiche möglich ist. Die Deichnarbe und was darunter ist, wird von der Flut auch mehr oder weniger aufgeweicht und verträgt ein Befahren erst wieder nach längerer Zeit.

Es ist aber durchaus möglich, den Deich vor Schaden zu bewahren, wenn der Treibsel nicht fristgemäß vom Deich gebracht wird. Im Treibselstrich ist all das enthalten, was die Flut an losem Gut vom Watt und Vorland an den Deich geschwemmt hat — hauptsächlich Schaf- und Gänsemist, abgerupftes Gras, das nicht gefressen wurde und sonstiges von der See ausgeworfenes Gut. Das Gewicht des Treibsel im frischen Zustand ist aber zu mehr als der Hälfte eine Wasserlast, die es zunächst zu beseitigen gilt. Das kann dadurch geschehen, daß der Treibselstrich wie ein Grasschwaden bei der Heugewinnung auf der Deichböschung locker ausgestreut wird und dort seinen Wasseranteil verliert; dann ist dem Gelbwerden und der Erstickung der Deichnarbe wie auch der Ansiedlung von Mäusen und sonstigen tierischen Schädlingen unter dem Treibselstrich vorgebeugt. Der Deich trocknet ab, der ausgestreute Treibsel wird weiter locker gehalten und kann schließlich mit der Harkmaschine zum Fuß des Deiches hingekehrt werden, dann ist die Zeit der Abfuhr der Treibselmasse gekommen.

#### c. Befahren der Deichberme bzw. -böschung

Da jeglicher Fahrverkehr auf der Deichaußenböschung schädlich ist und dort die Last von Fahrzeugen weit überwiegend auf dem dem Deichfuß zugekehrten Räderpaar liegt, ist es naheliegend, die Außenberme des Deiches als Abfuhrweg für den Treibseltransport zu benutzen und den Deichkörper nur in den vorhandenen Deichüberwegungen zu befahren. Der Umfang der dort eventuell entstehenden Beschädigungen des Deiches ist sehr begrenzt, ihre Ausbesserung erfordert nur geringe Sodenmengen. Die evtl. zerfahrene Außenberme kann dagegen mit dem Wegehobel glattgestrichen werden.

So wie in den beiden vorstehenden Abschnitten geschildert, kann zur Schonung der Sodendecke des Deiches und zur Vermeidung von Schäden an ihr verfahren werden. Es ist an sich einmal widersinnig, bei der Säuberung des Deiches von Treibgut aller Art diesen zu beschädigen und zum anderen ist keine Ausbesserungsmaßnahme mühsamer durchzuführen, als die Aussodung von Radspuren in der Sodendecke des Deiches.

Im Interesse der Deichsicherung sollten auch bei der Abfuhr von Strandgütern die Wasserführungsanlagen im Vorland nicht befahren und der weitere Weg zum Binnenland wie im vorigen Abschnitt vorgesehen, gewählt werden.



Das Befahren der Deichböschung mit eisenbereiften Fahrzeugen ist in jedem Falle und bei jeder Wetterlage schädlich. Gummibereifte Fahrzeuge mit Lasten können die Deichnarbe beschädigen, wenn die Sodendecke des Deiches gefroren ist; beim Gleiten der Räder wird der Wurzelhals der Gräser der Deichnarbe verletzt. Solche Schäden werden erst sichtbar, wenn der Wachstumstrieb in der Grasnarbe einsetzt.

Die Zuwanderung von Mäusen, Maulwürfen, Wühlmäusen und Kaninchen in den Deichkörper zu verhindern, ist bisher nicht gelungen, und man wird annehmen dürfen, daß dies auch zukünftig nicht gelingen wird; es mögen auch noch weitere gefährliche Schädlinge hinzukommen. Es bleibt also nur übrig, alle diese Schädlinge nach Möglichkeit laufend zu vertilgen oder doch kurz zu halten.

Die übliche 20 m breite Außenberme und die etwa 7 m breite Binnenberme der Seedeiche sind wichtige Deichzubehörteile.

Die Binnenberme sichert die Zuwegung zum Deich vom Binnenland her auf der ganzen Deichstrecke. An ihrer Landseite sollte man keinen stromführenden Graben (Ringschlot) anlegen, sondern nur eine gewöhnliche offene Grube zur Aufnahme und Abführung der Niederschläge von der Binnenböschung und der Berme; ein Sielzug würde hier in dem meist sandigen Dithmarscher Koogsboden zu schädlichen Profilerweiterungen führen.

Die 20 m breite Außenberme soll in erster Linie den Wellenangriff von dem Deichfundament abhalten. Deshalb ist ihre Erhaltung in ganzer Breite notwendig. Wo erforderlich, ist ihr Bestand durch wirksame Uferschutzmaßnahmen zu sichern. Diese der Überflutung oft ausgesetzte Berme bedarf aber auch einer guten Entwässerung, damit sie an der natürlichen Auflandung teilhaben kann; sie muß also wie sonstige Vorlandflächen mit Gruppen versehen sein, nur ein etwa 6 m breiter Streifen vor dem Deichfuß ist heil zu halten und ab und zu mit Gruppenaushubboden zu erhöhen. Auf ihm kann der notwendige Verkehr außendeichs ohne jegliche Gefahr für den Deich selbst stattfinden. Es ist aber notwendig, Vorkehrungen zu treffen bzw. Anlagen zu halten, die geeignet sind, bei Überflutungen des Vorlandes den Grundstrom vom Deichfuß abzudrängen, damit dort keine Mulde entsteht.

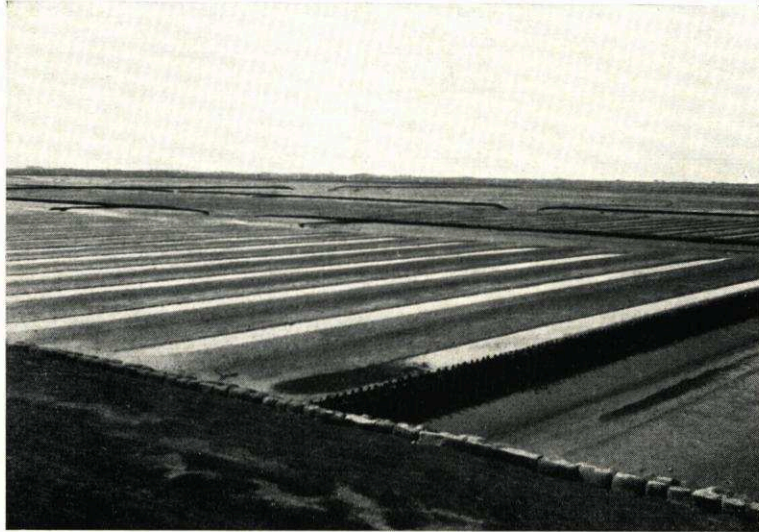
Bei der sandigen Struktur des Dithmarscher Deichbodens und der Soden ist Strohbestückung kein empfehlenswertes Mittel zur Verhinderung von Deichschäden, wie sie es nördlich der Eider war und teils an Uferrändern unter MThw noch ist; die sogenannte Sommerbestückung von Deichböschungsf lächen war aber auch dort nicht von Nutzen, weil die Deichnarbe darunter erstickte. Den wirksamsten Deichschutz gibt eine nur durch richtige Beweidung erzielbare kurze und dichte Grasnarbe.

Die Möglichkeit einer ausreichenden Unterhaltung der Landesschutzdeiche an der schleswig-holsteinischen Westküste ist nur so lange und nur dort einwandfrei gegeben, wo die dazu erforderlichen Hauptbaustoffe — Soden und Boden — vor den Schadenstellen der Deiche oder nicht zu weit ab von diesen vorhanden und entnehmbar sind. Die Unterhaltung der Deichaußenböschung erfordert Soden aus salzigem Vorland; zur Unterhaltung der oberen Außenböschung und der Binnenböschung sind möglichst Binnenlandsoden zu verwenden (die aber niemand gern hergibt).

Vor scharliegenden Deichstrecken kann etwa fehlender Deichboden notfalls in reichlich bemessenem Abstand vom Deichfuß aus dem Watt entnommen werden, aber Soden von weit entfernt gelegenem Vorland antransportieren zu müssen, wäre mit zwei sehr beachtlichen Übeln verbunden — der Transport lockert das Gefüge der transportierten Soden und der Verkehr der Transportgeräte entlang der Deichböschung schadet der Deichnarbe.

Die Länge der scharliegenden, durch Steindecken notgesicherten Strecken der Dithmarscher und Südereiderstedter Landesschutzdeiche ist so erheblich, daß eine Auflandung des Wattbodens vor den Steindecken (die sichere Zeugen ehemaliger Landabbrüche sind) systematisch





Aufn. MARSCHENBAUAMT Heide

Abb. 37. Die ersten Vorbedingungen für die Bildung eines Anwachs vor dem bis jetzt scharliegenden Steindeich sind in Form der Lahnungen und Gruppen gegeben. Barlter Sommerkoog. 2. 9. 1938

in Angriff genommen und herbeigeführt werden muß, allein um die Möglichkeit der Deichunterhaltung zu sichern.

#### D. Zusammenfassung und Empfehlungen

Mit dem vorstehenden Aufsatz wird aus dem Aufgabenbereich „Deichbau und Landgewinnung“ ein Erfahrungsbericht vorgelegt. Es kommen Bau-, Verwaltungs- und Pflegemaßnahmen zur Darstellung, die im methodischen Schrifttum der Küstenprobleme bisher keinen Niederschlag gefunden haben. Wenn es sich auch um Erfahrungen und bewährte Methoden im Dithmarscher Wattenmeer handelt, so gibt es zum Problem der Deich- und Anwachspflege in den verschiedenartigen Abschnitten der Küste im Grunde keine Abweichungen grundsätzlicher Art. Und wenn es auch kein Schema und kein überall passendes Rezept gibt, so mögen die vorliegenden Ausführungen den angehenden Ingenieur der Landgewinnung und des Deichbaues doch zu Fragen hinführen, deren Beantwortung bis dahin nur durch mühselige und in jahrzehntelanger Praxis gesammelte eigene Erfahrungen möglich war.

Bei einer zusammenfassenden Betrachtung mögen folgende Punkte besonders herausgestellt werden:

1. Die Sode ist ein lebender Baustoff. Alle Maßnahmen an oder vor den Deichen erfordern nicht nur Rücksichtnahme auf ihren biologischen Bewuchs, auf die Grasnarbe, sondern eine laufende Heranbildung von neuen Anwachsflächen zur Gewinnung einer baufähigen Sode für die Unterhaltung der Seedeiche.
2. Um einen gesunden Anwachs zu erhalten, sind Landgewinnungsmaßnahmen rechtzeitig einzuleiten. Es wird der historische und moderne Lahnungsbau erörtert und durch Zeichnungen und Photos belegt.
3. In der richtigen Beweidung von Deich- und Vorland wird eine bedeutsame Grundlage für die Deichsicherheit gesehen. Der Versorgung der im Salzwasserbereich weidenden Schafe und Gänse mit frischem Tränkwasser ist größte Bedeutung beizumessen.





Aufn. E. WOHLBERG

Abb. 38. Junger, durch Begrüppelung geschaffener Anwachs vor dem früher scharliegenden Steindeich des Kaiser-Wilhelm-Kooges

4. Die Art der Verpachtung des staatseigenen Vorlandes wird beschrieben, die Interessen des Staates sowie der Deichverbände werden herausgestellt.
5. Die Vorteile der in den letzten Jahrzehnten in den Hintergrund getretenen Methode der Sommerbedeichung werden erörtert.
6. Die Beweidung der Winterdeiche — Landesschutzdeiche — darf sehr weitgehend nur durch Schafe erfolgen. Es werden Empfehlungen und Anweisungen gegen den Fahrverkehr an den Deichböschungen zum Ausdruck gebracht und das rechtzeitige Ausstreuen des Treibseils empfohlen.
7. Landgewinnungsarbeiten, Deichunterhaltung und deichpflegerische Maßnahmen rangieren im öffentlichen Einsatz von Arbeitskräften vor allen übrigen landwirtschaftlichen Aufgaben, denn Deichsicherheit ist das Wichtigste.

Es ist empfehlenswert, eine Stamm-Mannschaft der Wasserbauwerker nicht nur heranzubilden, sondern auch am Seedeich anzusiedeln und ihnen dort jeweils soviel Land als eigen zuzuteilen, daß ihnen Kuh- und Kleinviehhaltung sowie die Versorgung der Familie mit Gemüse und Gartenfrüchten möglich ist. Ein solches Verfahren zur Seßhaftmachung tüchtiger Arbeitskräfte sollte bei jeder Neubedeichung zugleich mit durchgeführt werden.

#### E. Schriftenverzeichnis

1. HINRICHS, W.: Nordsee/Deiche, Küstenschutz und Landgewinnung. Husum 1931.
2. MÜLLENHOFF, L.: Die domänenfiskalischen Sommerkooge im Kreis Süder-Dithmarschen. Marne 1903.
3. PHILIPPSEN, W. und GÖHRING, R.: Kaiser-Wilhelm-Koog 1874 bis 1924. Heimatbuch zum 50jährigen Bestehen. Marne 1924.
4. WOHLBERG, E.: Die Grüne Insel in der Eidermündung. Arch. Dtsch. Seewarte 50, H. 2, 1931.
5. WOHLBERG, E.: Entstehung und Untergang der Insel Trischen. Mitt. Geogr. Ges. Hamburg 49, S. 158—187, 1950.

# Sedimentpetrographische Kartierung des Neuwerker Watts im Sommer 1952<sup>1)</sup>

Von Wilhelm Georg Simon

## Inhalt

I. Aufgabe	130
II. Über die Entnahme und Verarbeitung der Proben von der Oberfläche des Watts	131
III. Sedimentpetrographische Kartierungsergebnisse	
1. Das regionale Bild der Flächen gleicher Wertstufen des gemittelten Korndurchmessers	133
2. Das regionale Bild der Flächen gleicher Wertstufen der Kornanteile unter 0,1 mm Durchmesser	135
3. Das regionale Bild der Flächen gleicher Wertstufen des Verhältnisses Klinaugit : Epidot · 100	137
IV. Schalengemeinschaften	139
V. Versuch einer Deutung der Kartierungsergebnisse hinsichtlich der Sandbewegung	140
VI. Zusammenfassung	145
VII. Schrifttum	146

## I. Aufgabe

Das Neuwerker Watt, zwischen der Insel Neuwerk und Scharhörn gelegen, ist eines der interessantesten Gebiete der Außenelbe. Im Norden liegt die breite Weltverkehrsstraße: die Elbe. Im Süden befindet sich ein mächtiger Wattstrom: Norder Till. Eine Wattwasserscheide etwa auf der Mitte der Wattfläche trennt die Prielsysteme, deren Wasser zur Elbe fließen, von denen, deren Wasser zur Till hin strömt. Zur Elbe hin entwässern die hohen Wattflächen durch das System der Hundebalje, zur Till entwässern Muscheloch, Neuwerker Loch, Robbenloch<sup>2)</sup>. Westlich der grauen Wattrückenlandschaft mit der Wattwasserscheide dehnt sich die hohe, nur bei Hochfluten überspülte, gelblich helle Schwemmsandplate von Scharhörn. Auf den höchsten Teilen dieser Plate ist der lockere Sand ständig ein Spiel der Winde, sie sind vom Flugsand überdeckt. Vor der hohen Plate im Westen befinden sich die flachen Außenwatten und Brandungs-bänke. Noch weiter westlich folgen die Außensände: die Robbenplate und das Scharhörnriff.

In den Jahren 1935/36 hat J. F. GELLERT (1952) diese Landschaft durchstreift und die Wattoberflächen zwischen Duhnen und Scharhörn kartiert, ähnlich wie es W. WRAGE (1930) für die Wattflächen zwischen Friedrichskoog und Trischen unternahm. GELLERT beschränkt sich bei seiner Kartierung, ähnlich wie WRAGE, auf die Unterscheidung der Watten in Sandwatten,

<sup>1)</sup> Mitteilung aus dem Geologischen Landesamt Hamburg Nr. 26.

<sup>2)</sup> Die Landschaftsbezeichnungen wurden einer vom Wasser- und Schiffsamt Cuxhaven in den Jahren 1954/55 hergestellten und bisher unveröffentlichten topographischen Karte des Watts zwischen Duhnen und Scharhörn entnommen. Das Robbenloch ist ein in westlicher Richtung entwässernder und in das Scharhörnloch vor der Robbenplate mündender Priel (Abb. 1). Die Fläche zwischen dem Robbenloch und dem Wittsandloch wird unterer Wittsand, und die Fläche zwischen dem Wittsandloch und dem Neuwerker Loch oberer Wittsand genannt. Östlich des Neuwerker Lochs befindet sich der Schaf-sand. Er wird im Osten vom Muschel-Loch begrenzt. Darüber hinaus verdeutlicht Abbildung 1 die beiden großen Landschaftseinheiten. Die eine ist die Schwemmsandplate von Scharhörn, umrissen von der Null-Linie. Östlich anschließend folgt die andere: die Wattrückenlandschaft mit dem die Watt-wasserscheide tragenden Wattrücken und den von diesem Wattrücken zur Elbe und zur Till entwässernden Prielen. An der Elbe nordwestlich der Baubude Scharhörn gibt Abbildung 1 die Umrisse des Scharhörn-Riffs wieder.



Mischwatten, Schlickwatten, Altschlickvorkommen, Muschelschillvorkommen und anderes mehr. Auf einer kleinen Kartenskizze gibt er die Aufteilung der Wattflächen wieder. Er nennt den Wattrücken Scharhörn — Neuwerker Wattplate. Von hier aus zur Elbe folgt das Elbeaufschüttungssandwatt und zur Till hin das Tillaufschüttungssandwatt. Die Scharhörn-Sande umfassen die Flugsandplate und die vor dieser gelegenen Sande.

Die Arbeit von GELLERT ist deshalb interessant, weil sie zeigt, daß mit Ausnahme einiger weniger Änderungen im Verlauf der Wattkanten und der Priele wesentliche Änderungen seit 1935 nicht stattgefunden haben. Selbst die von GELLERT mit Pfeilen im Gebiet zwischen dem Buchtloch und der Küste dargestellten Strömungsverhältnisse haben sich nicht geändert. Verfasser hat die gleichen Strömungsverhältnisse auf Grund sedimentpetrographischer Abbildung im Sediment ermitteln können. Dieses Ergebnis deutet auf eine gewisse Stabilität des Duhnen-Neuwerker Watts hin. Es scheint im Gleichgewicht zwischen strömungs- und brandungsbedingtem Auf- und Abbau seine morphologische Beschaffenheit für längere Zeit mehr oder weniger zu behaupten.

Hiervon kann bei den nördlich der Außenelbe gelegenen Sänden wie Groß-Vogelsand, Gelbsand und Hakensand kaum die Rede sein. Nördlich der Außenelbe ist dieses Gleichgewicht ständig gestört, so daß die Sände dauernden Gestalts- und Lageänderungen unterworfen sind.

Ein Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg ermöglichte dem Verfasser, das Neuwerker Watt sedimentpetrographisch zu kartieren. Die bisher erzielten Ergebnisse werden auf den folgenden Seiten beschrieben.

## II. Über die Entnahme und Verarbeitung der Proben von der Oberfläche des Watts

Von Neuwerk aus wurden mehrere Fußmärsche unternommen, um Oberflächenproben zu gewinnen. Auf vorher festgelegten Wegstrecken wurden bei normaler Gangart alle zehn Minuten oder auch bei Bodenartenwechsel von der Wattoberfläche mit einem Löffel Proben abgehoben und in Glasflaschen gefüllt. Da aber die Ebbezeit nur eine verhältnismäßig kleine Zeitspanne zur Probenentnahme zuließ, wurde darüber hinaus bei auf- und ablaufendem Wasser vom Motorboot aus die Probenentnahme betrieben. Hierfür war ein kleiner Van-Veen-Bodengreifer vorhanden, der mit der Hand bedient wurde. Auch auf den Fahrten mit dem Motorboot wurden vorher festgelegte Kurse gefahren und in gleichen Zeitabständen von drei oder vier Minuten der Anker ausgelegt. Vom verankerten Boot aus wurden die Proben von der Oberfläche gegriffen. Sowohl auf den Fußmärschen als auch auf den Fahrten mit dem Motorboot wurden die Entnahmeorte der Proben mit dem Sextanten eingewinkelt, mit dem Winkeltransporteur auf einer Karte eingestellt und der Entnahmeort kartenmäßig fixiert. Abbildung 1 gibt die kartenmäßige Darstellung der Entnahmeorte wieder. Sie zeigt darüber hinaus die Engmaschigkeit des Probennetzes. Hierauf wurde besonderer Wert gelegt, denn die Erfahrungen auf dem Duhner Watt (SIMON, 1952) haben gelehrt, daß das Beobachtungsnetz nicht engmaschig genug sein kann, wenn man eine Oberflächenkartierung ausführen will. Aus Zeitgründen mußte damals auf größte Engmaschigkeit verzichtet werden, da es hauptsächlich auf eine Probenentnahme aus der Außenelbe ankam (SIMON, 1952). Dennoch ließen sich auf dem Duhner Watt mit den damals gewonnenen Proben bei der petrographischen Bearbeitung wertvolle Anhaltspunkte über die Bewegung des Sandes gewinnen. Erstrebenswert ist es jedoch, auch das Duhner Watt einmal mit einem sehr engmaschigen Probennetz zu überziehen. Die Verarbeitung der Proben ist zeitraubend. Zunächst

müssen sämtliche Proben vom Meeressalz befreit werden, da sie einer Siebanalyse sonst nicht unterworfen werden können. Jede Probe wurde daher in einem Standzylinder untergebracht und mit Ammoniak versetztem destilliertem Wasser ausgewaschen. Nach 24 Stunden wurde das Wasser abgehebert, die Probe aus dem Standzylinder entfernt und getrocknet. Von der getrockneten Probe wurde eine Durchschnittsprobe von 50 g der Siebmaschine (Modell Julius

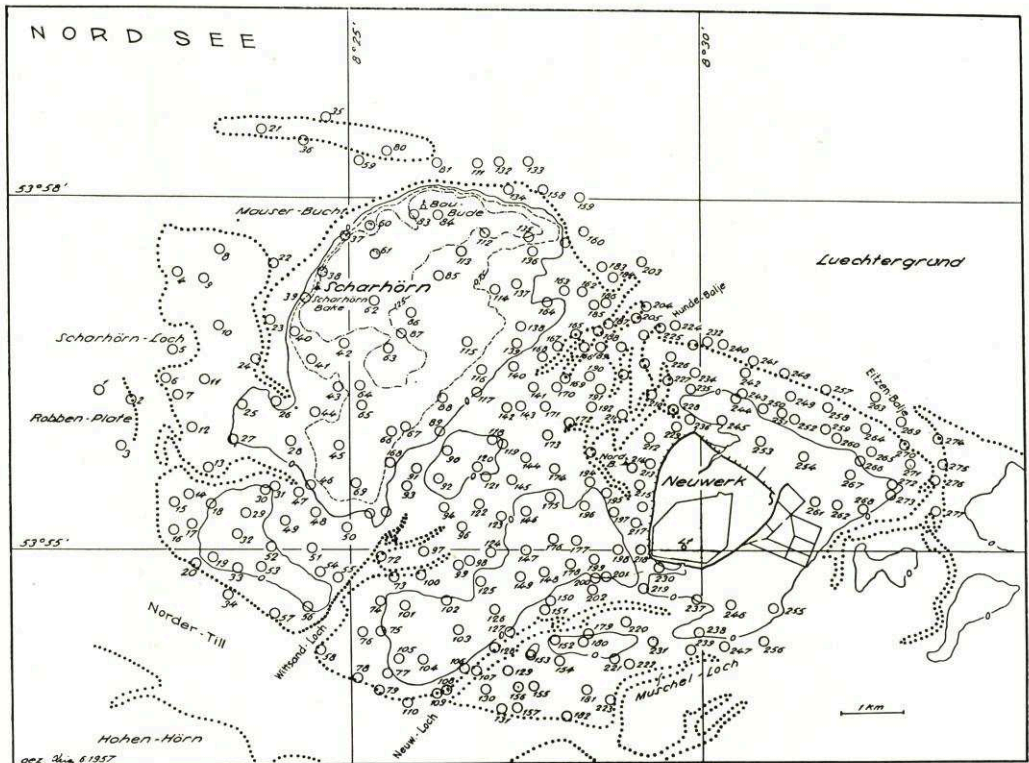


Abb. 1. Entnahmeorte der Proben

Engelsmann, Ludwigshafen Jel. 200) zugeführt und in Kornfraktionen aufgeteilt. Die Mengen jeder Fraktion wurden gewichtsmäßig festgestellt und zur eingewogenen Gesamtmenge in Beziehung gebracht. Auf Grund der Siebresultate wurde der gemittelte Korndurchmesser (dg-Wert) ermittelt. Dieser wird wie folgt berechnet:

$$dg = \frac{p_1 d_1 + p_2 d_2 + \dots}{100}$$

dg = gemittelter Korndurchmesser

$p_{1,2}$  = Prozentzahl der einzelnen Fraktion

$d_{1,2}$  = mittlerer Korndurchmesser.

Die stark feinkörnigen Proben wurden anschließend im Atterbergschen Schlämmszylinder weiter bearbeitet.

Mit Hilfe der Fallgeschwindigkeit im destillierten Wasser wurden die Kornanteile unter 0,06 mm Durchmesser aufgeteilt in die Korngrößen

0,06—0,02 mm  
< 0,02 mm.



Die Kornfraktion 0,2—0,1 mm bildet das Ausgangsmaterial für die Schwermineraluntersuchung. Mit einem Scheidetrichter, der mit einer schweren Lösung beschickt wurde, ließ sich die Kornfraktion 0,2—0,1 mm in schwere und leichte Mineralien aufspalten. Die schweren Mineralien mit einer Dichte von 3 aufwärts wurden aufgefangen, getrocknet und unter dem Polarisationsmikroskop bestimmt und ausgezählt. Es hat sich gezeigt, daß für das Gebiet der Elbe die Mineralien Klnaugit, hier oft Augit genannt, und Epidot dann gewisse Einblicke gestatten, wenn man ihren Mengenanteil zueinander in Beziehung bringt (SIMON, 1952). Der Augitwert, nämlich das Verhältnis von Klnaugitanteil zu Epidotanteil, mit 100 multipliziert (um die Dezimalstellen zu umgehen), wurde für jede Probe ermittelt. Von einer schwermineralanalytischen Vollanalyse der Proben wurde abgesehen, da eine Reihe solcher Analysen im Gebiet der Außenelbe die A-Gruppenzusammensetzung nach C. H. EDELMAN (1933) außer Zweifel setzte (SIMON, 1952).

Die Tatsachenbefunde sind in Tabellen zusammengefaßt. Eine Einsichtnahme ist möglich beim Geologischen Landesamt Hamburg, bei der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg, beim Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven und beim Küstenausschuß Nord- und Ostsee in Kiel.

### III. Sedimentpetrographische Kartierungsergebnisse

#### 1. Das regionale Bild der Flächen gleicher Wertstufen des gemittelten Korndurchmessers

Das zusammengetragene Tatsachenmaterial bietet mehrere Möglichkeiten der kartenmäßigen Darstellung. Eine dieser Möglichkeiten ist beispielsweise die Kartierung der Hauptkorngrößen. Bei der Durchsicht der Korngrößenanalysen zeigt sich aber, daß ein solches Verfahren ausscheiden muß, da Unterschiede fehlen. Die hier eingefügte kleine Zusammenstellung mag dies erläutern. Sie zeigt, daß die Hauptkorngrößen der Sedimente des Neuwerker Watts durchweg die Korngrößenstufe 0,2—0,1 mm Durchmesser umfassen. Diese Hauptkorngrößen 0,2—0,1 mm besitzt nicht nur die Oberfläche der Wattrückenlandschaft, sondern auch die Oberfläche der Schwemmsandplate von Scharhörn. Der Wittsand, das Außenwatt vor Scharhörn und der Kleine Vogelsand weisen alle dieselben Hauptkorngrößen 0,2—0,1 mm auf.

Es gibt jedoch noch andere Möglichkeiten der Darstellung. Für die Grundlagenforschung öffnet sich hier ein Betätigungsfeld. Es dürfte wünschenswert sein, an einem petrographisch gut aufgeschlossenen Gebiet, wie etwa dem vorliegenden, verschiedene Darstellungsarten zu versuchen und gegeneinander abzuwägen. In dieser Arbeit allerdings kam es darauf an, eine Darstellungsart zu finden, die der gestellten Aufgabe gerecht wird. Deshalb wurde außer einer Darstellung der Kornanteile unter 0,1 mm wie bereits früher (SIMON, 1952) auch der gemittelte Korndurchmesser herangezogen.

Nach LUCHT (1953) wird der Schwerpunkt einer Kornmischung durch die Darstellung mit Hilfe des gemittelten Korndurchmessers verwischt. Auf diesen Nachteil machte bereits 1938 GRY aufmerksam. Auf den Vorteil der Ermittlung des gemittelten Korndurchmessers wies Verfasser (1953, 1954) hin, z. B. im Hinblick auf die Möglichkeit, den dg-Wert für die Berechnung der Grenzschleppkräfte einzusetzen. Um jedoch der Gefahr zu begegnen, welche die Darstellung mit Hilfe des gemittelten Korndurchmessers in sich birgt, unternahm Verfasser (1953, 1954) die Kartierung von Anteilen an Korngrößengruppen. In der vorliegenden Arbeit wurden die Anteile an Korngrößen unter 0,1 mm kartiert. In einer früheren Arbeit kartierte Verfasser (1953) die Anteile an Korngrößen von 1,0 bis 0,2 mm und in einer noch



unveröffentlichten Arbeit (1954) Anteile an Korngrößen unter 0,06 mm, von 0,06 bis 0,2 mm und von 0,2 bis 1,0 mm. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß das Ergebnis der Körnungsanalyse ohne Einschaltung von Umrechnungen für die Kartierung verwandt wird.

Korngrößen	Scharhorn Schwemmsand- plate	Scharhorn Außenwatt	Unterer Wittsand	Wattrücken- landschaft	Kleiner Vogelsand
0,5—0,2 mm	36,0 ‰		12,5 ‰	4,6 ‰	6,6 ‰
0,2—0,1 mm	64,0 ‰	100,0 ‰	87,5 ‰	95,4 ‰	93,4 ‰
Anzahl der Proben	50	14	24	109	30

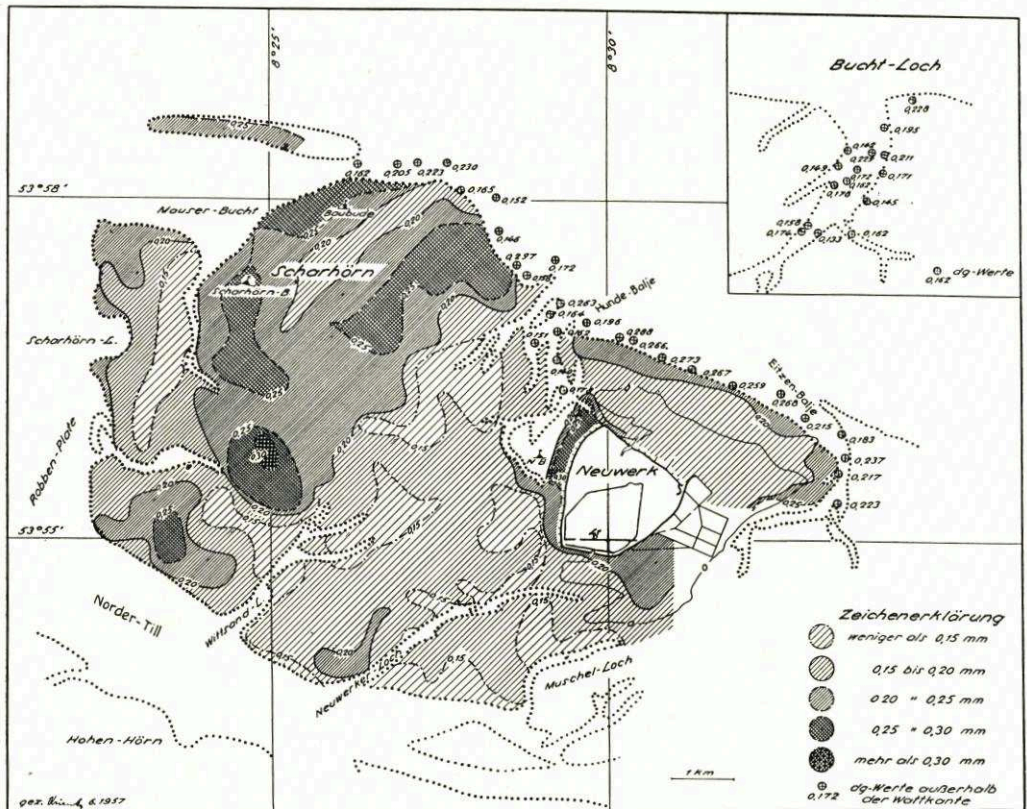


Abb. 2. Korngrößenverteilung nach Maßgabe des gemittelten Korndurchmessers in Millimeter

Die Werte des zu jedem Entnahmeort gehörigen gemittelten Korndurchmessers wurden zu Wertstufen zusammengefaßt und die Wertstufen durch Linien gleicher gemittelter Korndurchmesser voneinander getrennt, wie die Karte (Abb. 2) ausweist. Auf diese Weise erhält man ein regionales Bild von den Bodenverhältnissen der Wattoberflächen. Diese gilt es hier zu beschreiben und Unterschiede klarzulegen. Auf eine Deutung wird zunächst verzichtet, sie wird weiter unten folgen. Die Karte (Abb. 2) läßt Unterschiede in der Verteilung des gemittelten Korndurchmessers erkennen.

Die Schwemmsandplate von Scharhorn zeigt eine andere Korngrößenzusammensetzung als die Wattrückenlandschaft zwischen dieser Plate und Neuwerk. Dieses Verhalten macht sich



in den kartierten Flächen gleicher Wertstufen des gemittelten Korndurchmessers bemerkbar. Während die Schwemmsandplate im großen und ganzen gemittelte Korndurchmesser von 0,30 bis 0,20 mm aufweist, besitzt die Oberfläche der Wattrückenlandschaft Werte von 0,20 bis 0,13 mm Durchmesser. Die Oberfläche der Wattrückenlandschaft ist um wenig feinkörniger als die Oberfläche der Schwemmsandplate. Das letztere gilt auch für den Schafsand und den Oberen Wittsand im Süden. Eine Ausnahme macht der Untere Wittsand mit dg-Werten von 0,264 bis 0,136. Das Außenwatt läßt deutlich eine von Westen nach Osten und von Nordwesten nach Südwesten hin erfolgende Staffelung der Flächen gleicher Wertstufen des gemittelten Korndurchmessers erkennen. Die Werte bewegen sich zwischen 0,228 und 0,152. Der vorgelagerte, durch das Scharhörnloch vom Außenwatt getrennte Außensand „Robbenplate“ besitzt gemittelte Korngrößen von 0,20 an aufwärts. Das Scharhörnriff weist im Norden an der Elbe einen der Brandungsbank entsprechenden Streifen mit gemittelten Korngrößen von 0,270 auf. Auf dem Mittelstreifen mit den Strombänken schwanken die gemittelten Korngrößen zwischen 0,235 und 0,299. Der südliche Teil des Riffs, die Lebensgründe der Herzmuschel, der Seeigel und des Wattwurms *Arenicola*, ist bedeutend feinkörniger. Der dg-Wert beträgt 0,172.

Der Sand mit den höheren dg-Werten befindet sich auch auf den Gründen östlich des Riffs und ist weiter zu verfolgen von der Wattkante über die Mündung der Hundebalje hinaus, am Kleinen Vogelsand und auf dem unteren Teil des Hanges vom Kleinen Vogelsand bis in die Eitzenbalje hinein. Der obere Teil des Kleinen Vogelsandes ist etwas feinkörniger. Die dg-Werte schwanken hier zwischen 0,20 und 0,162. Der Insel Neuwerk im Westen und Nordwesten unmittelbar vorgelagert besteht das Watt in einem schmalen Streifen aus grobkörnigerem Material, als die weitere Umgebung aufweist. Die gemittelten Korndurchmesser schwanken hier zwischen 0,312 und 0,20.

Die Wattrückenlandschaft westlich Neuwerk läßt größere Flächen mit dg-Werten zwischen 0,15 und 0,20 erkennen. Es gibt aber auch Flächen mit dg-Werten unter 0,15. Diese Flächen erstrecken sich einmal aus der Gegend der Wattwasserscheide in Richtung auf die beiderseits der Wasserscheide vorhandenen Prielsysteme. Zum anderen erstrecken sie sich von den Wattflächen in Richtung auf einzelne Prielzüge. Das gilt auch für den Unteren Wittsand. Die Oberfläche der Schwemmsandplate scheint auf den ersten Blick eine ziemlich ungeordnete Korngrößenverteilung aufzuweisen. Bei näherer Betrachtung zeigt sich aber, daß das nicht der Fall ist. Am Nordwestrand kommen auf einem schmalen Streifen Werte von 0,296 vor. Die große Plate selbst besitzt drei große Zentren mit größerem Material. Ein solches Zentrum befindet sich im Südwesten mit Werten zwischen 0,314 bis 0,257. Ein weiteres Zentrum liegt im Westen mit Werten zwischen 0,28 bis 0,25, und das dritte Zentrum erstreckt sich zwischen der Wattkante im Nordosten in etwa südwestlicher Richtung bis ungefähr in die Mitte der Plate. Die breite Front zeigt nach Nordwesten. Es liegt hier zwischen einem Streifen mit etwas feinkörnigerem Material im Westen mit dg-Werten eben unter 0,20 und dem Hundebaljensystem im Osten. Zwischen diesen drei Zentren dehnen sich große Flächen mit nur um wenig geringeren Werten als denen der Zentren, nämlich zwischen 0,25 und 0,20.

## 2. Das regionale Bild der Flächen gleicher Wertstufen der Kornanteile unter 0,1 mm Durchmesser

Zur Stauwasserzeit, zwischen Tidehochwasser und dem Einsetzen des Ebbestroms, sinkt das feinste Korn zu Boden. Es fällt nicht überall gleichmäßig, sondern hier weniger und dort mehr, je nach den hydrographischen Besonderheiten der Gebietsteile. Im vorliegenden Fall interessiert der Absatz einerseits auf der Wattrückenlandschaft, andererseits der auf der Schwemmsandplate. Aus diesem Grunde wurden die Kornanteile unter 0,1 mm Durchmesser



den Siebergebnissen entnommen und kartiert. Diese Kartierung beruht wie bisher auf dem gleichen Schema. Auf Grund des Beobachtungsnetzes wurden Linien gleicher Anteile der Korngrößenzusammensetzung unter 0,1 mm Durchmesser kartennmäßig dargestellt. Die Flächen zwischen diesen Linien wurden durch Schraffuren als Flächen gleicher Wertstufen der Kornanteile unter 0,1 mm Durchmesser kenntlich gemacht. Die auf diese Weise sich ergebende Abbildung 3 zeigt die Aufteilung in verschiedene Flächen, deren Besonderheiten hier zu schildern sind.

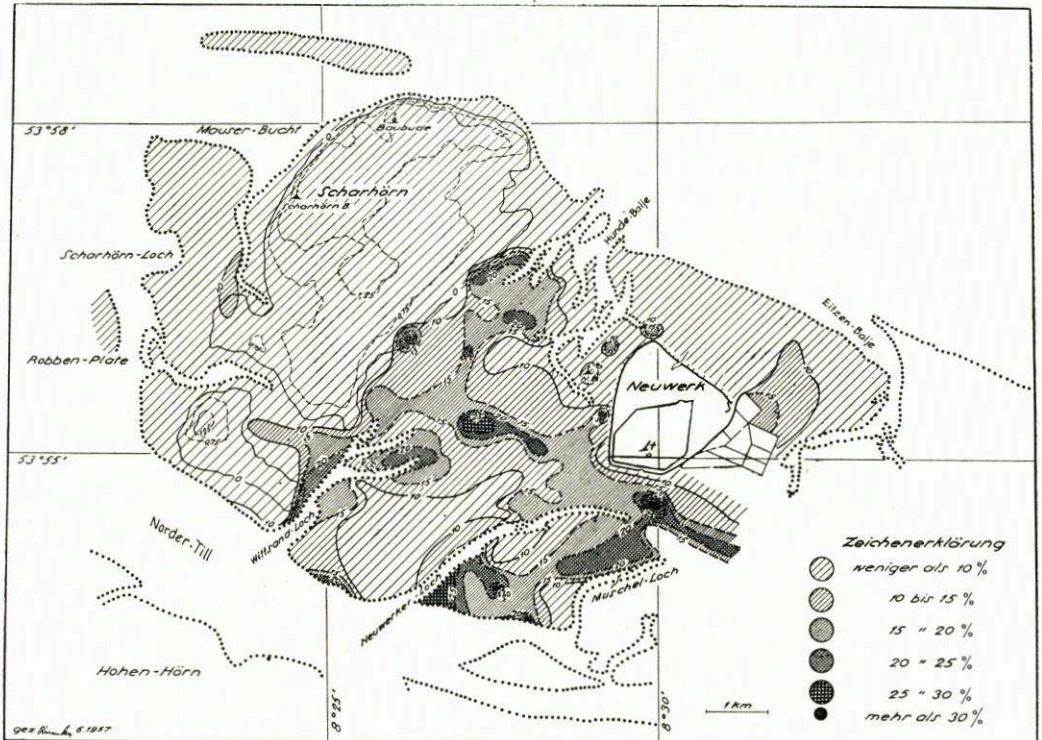


Abb. 3. Korngrößenverteilung der Korngrößen unter 0,1 mm Durchmesser

Sowohl die Außensände als auch das Außenwatt bzw. die große Schwemmsandplate besitzen weniger als 10 % Anteil an Korngrößen unter 0,1 mm Durchmesser. Nur eine kleinere Fläche im Osten des Außenwatts, am Priel, der zur Mauerbucht hin entwässert, zeigt eine Beteiligung der Korngrößen unter 0,1 mm mit über 10 %. Ein ganz anderes Bild vermittelt die zwischen der Schwemmsandplate und Neuwerk gelegene Wattückenlandschaft. Noch klarer als die Karte der gemittelten Korndurchmesser zeigt die Karte mit den Flächen gleicher Wertstufen der Kornanteile unter 0,1 mm den Charakter dieser Wattückenlandschaft. Der hohe Wattücken zeigt die höchsten Anteile der Korngrößen unter 0,1 Millimeter, und zwar über 25 %; im Süden von Neuwerk sogar mit über 30 %.

Von der Höhe des Wattrückens nach Norden und Süden nimmt der Anteil an feinstem Korn bis auf 10 % ab, während der hohe Anteil an die Längserstreckung des Wattrückens gebunden bleibt. Im Norden folgt um das System der Hunde Balje bis auf den Kleinen Vogelstrand hinauf ein geringerer Anteil der Körnung unter 0,1 mm, und zwar unter 10 %.

Ein ähnliches Bild ergibt sich im Süden. Dort folgen auf dem oberen Wittsand Korngrößenzusammensetzungen mit weniger als 10 % Anteilen unter 0,1 mm. Sowohl nach dem



Wittsandloch als auch nach dem Neuwerker Loch hin ergibt sich von dieser großen Fläche mit geringem Anteil eine Staffelung zu höheren Anteilen, nämlich 15 % und darüber. Die Randschlickwatten an den Prielen weisen naturgemäß auch höhere Anteile auf, so im Wittsandloch über 20 % bzw. 25 % und im Neuwerker Loch ebenfalls über 20 % und 25 %. Sehr hohe Anteile ergeben sich auch auf dem Wattrücken dort, wo es die hydrographischen Verhältnisse ermöglichen. Ebensolche kleinen Gebiete finden sich im Westen und Nordwesten der Insel Neuwerk unmittelbar vorgelagert. Während der Kleine Vogelsand im allgemeinen eine Kornzusammensetzung besitzt, deren Anteile unter 0,1 mm nur weniger als 10 % betragen, zeigt sich, daß sich vom Anlandungsgebiet her im Osten der Insel Neuwerk ein breiter Streifen in Richtung auf die Elbe hin erstreckt mit Anteilen von 10 % bis 15 %. Der im Süden der Insel Neuwerk gelegene Schafsand zeigt verwickeltere Verhältnisse. Ein schmales Gebiet mit hohen Anteilen unter 0,1 mm, nämlich über 20 %, erstreckt sich von Nordosten her auf den Schafsand eben nördlich des Neuwerker Lochs und diesem Priel fast parallel ziehend. Sowohl zum Neuwerker Loch als auch zum Muschelloch hin nehmen die Anteile ab. Diese Abnahme erfolgt zum Muschelloch hin schneller, zum Neuwerker Loch hin allmählich, und zwar bis zu Anteilen unter 10 %. Im Südwesten des Schafsandes nehmen die Anteile wieder zu und erreichen Werte bis zu 28,4 %.

### 3. Das regionale Bild der Flächen gleicher Wertstufen des Verhältnisses Klinaugit:Epidot · 100

Das regionale Bild der Flächen gleicher Wertstufen des gemittelten Korndurchmessers läßt ebenso wie das regionale Bild der Kornanteile unter 0,1 mm eine petrographisch gegliederte Landschaft erkennen. Im Westen befindet sich die hohe Schwemmsandplate mit den drei ausgeprägten Zentren ausgesonderten wenig gröberen Materials als in der Umgebung, als Zeichen der Brandung von Südwesten, Westen und Nordwesten. Weiter nach Osten aber folgt die hohe Wattrückenlandschaft mit der Konzentration des feinkörnigen Materials auf dem Wattrücken und im Schutz der Ostflanke der Schwemmsandplate. Dieser Landschaft eigentümlich sind die vom Rücken nach Norden und Süden entwässernden Prielzüge, die sich petrographisch durch eine in diesen Richtungen vollziehende Materialsonderung zu erkennen geben. Demnach zeichnet sich eine Anfrachtung von Sand aus westlichen Richtungen ab. Der herangeführte Sand wird über die Schwemmsandplate verteilt und abgesetzt. Ein Teil dieses Materials jedoch gelangt schließlich in das Gebiet der Wattrückenlandschaft. Hier wird ein Teil des wandernden Materials durch die Prielzüge nördlich und südlich des Wattrückens abgefangen und weiter ausgelesen, während ein Restteil über den Rücken in östlicher Richtung verfrachtet wird.

Um dieses Ergebnis zu festigen, wurde nach dem Vorbild früherer Arbeiten des Verfassers das Verhältnis Klinaugitanteil:Epidotanteil berücksichtigt und ein regionales Bild der Flächen gleicher Wertstufen dieses Verhältnisses gezeichnet (Abb. 4). Es stimmt grundsätzlich mit den oben beschriebenen Untersuchungsergebnissen überein.

Aus westlichen Richtungen wird Sand mit etwas mehr Klinaugit als Epidot bei Scharhörn angefrachtet und auf dem flachen Außenwatt und auf dem Unteren Wittsand kommt es zu einer Sonderung des Materials durch die Brandung. Auch über die hohe Schwemmsandplate wird das Material unter ständiger Abnahme des Klinaugitanteils zugunsten des Epidotanteils verteilt. Der schmale von Norden nach Süden bis zum Robbenloch greifende Streifen mit einer auf diesen Priel hin gerichteten Auslese des Materials ändert an dem aufgezeigten großflächig verlaufenden Vorgang nichts. Denn auch die Wattrückenlandschaft zeigt bis östlich der Insel Neuwerk eine von Westen nach Osten greifende Verfrachtung und Auslese.



Die Prielzüge jedoch lassen deutlich ein teilweises Abfangen des wandernden Materials erkennen. Die Anfrachtung des wandernden Materials erfolgt aus westlichen Richtungen. Von Westen nach Osten wird dieses Material über das Watt bewegt. Von woher allerdings das Material kommt, ist noch unklar. Da das angefrachtete Material jedoch etwas mehr Augit als Epidot enthält, könnte es sein, daß es mit gleichgeartetem in Aufarbeitung begriffenem post-glazialen Material am äußersten Ende der Außenelbe im Zusammenhang steht, was noch zu beweisen wäre.

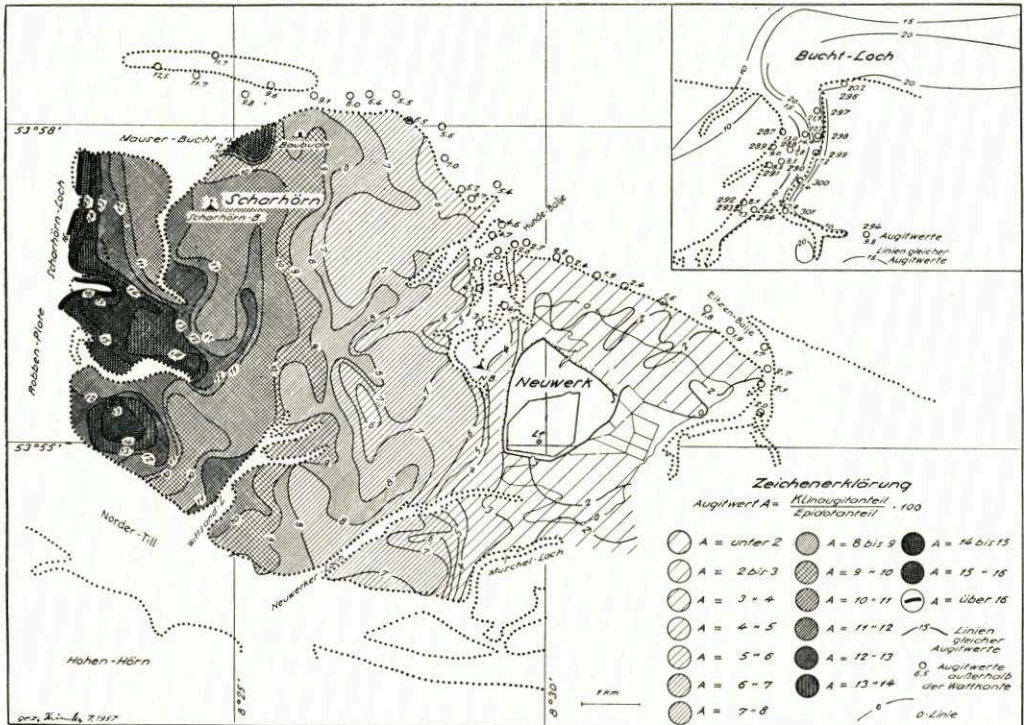


Abb. 4. Linien gleicher Augitwerte

Verfasser hat in seiner ersten Arbeit (1952, S. 22 u. 23) darauf hingewiesen, daß Sand zu Beginn der Ebbezeit mit dem Ebbestrom aus der Gegend der Tonne 0 in Richtung auf die Buchtlochmündung verdriftet wird. Der nachfolgende Flutstrom läßt das bis hierher gelangte Material in das Buchtloch eindringen und verfrachtet und verteilt es buchtlochaufwärts bis zur Wattwasserscheide. Hier wird ein Teil des Materials abgesetzt. Bekannt war seinerzeit das Vorhandensein des mit Klinkaugit durchsetzten Materials auf der Wattwasserscheide und vor der Buchtlochmündung. Im Buchtloch selbst fehlten Beobachtungen. Sie wurden nachgeholt und damit der folgende Nachweis erbracht, daß sich der Vorgang so abspielt, wie er in der ersten Arbeit geschildert wurde. Abbildung 4 zeigt in der oberen rechten Ecke eine Sonderdarstellung vom Buchtloch. Aus ihr geht hervor, daß das vom Ebbestrom bis zur Buchtlochmündung herangeführte Material vom nachfolgenden Flutstrom tatsächlich in das Buchtloch hineingespült wird. An der Ostseite des breiten Priels wandert es buchtlochaufwärts und büßt hierbei zugunsten des Epidotanteils etwas von seinem Augitanteil ein. Schließlich gelangt dieses Material auf die Wattflächen der Wattwasserscheide, wo es zum Absatz gelangt. Im Westteil



des breiten Prieles jedoch ist nichts von dem buchtlochaufwärts wandernden Material zu erkennen. Hier wandert Wattensand mit dem Ebbestrom buchtlochabwärts. Dieser Nachweis ist deshalb erfreulich, weil er zeigt, wie empfindlich Schwermineralien oft auf Verteilungsvorgänge reagieren.

LUCHT (1953) bezweifelt wegen des Unterschiedes im spezifischen Gewicht, daß die Schwermineralkörner ebenso stark wie Quarzkörner wandern. Hierzu ist zu bemerken, daß es in einer Sandmischung mit verschiedenen Korngrößen Schwermineralien geben wird, die mit Quarzkörnern dieser Mischung gemeinsam und gleich stark wandern. Für jede Quarzsandkorngröße gibt es gleichschwere Schwermineralkörner. Quarzkörner z. B. von 0,212 mm Durchmesser besitzen ein Gewicht von  $1,32 \cdot 10^{-5}$  g. Das gleiche Gewicht haben Klnaigitkörner von 0,2 mm Durchmesser, wenn man Kugelform voraussetzt. Quarzkörner von 0,217 mm Durchmesser entsprechen gewichtsmäßig Epidotkörnern von 0,2 mm Durchmesser. Bei gleichem Gewicht weichen die Durchmesser dieser Schwermineralkörner von denen der Quarzkörner nur um etwas mehr als ein Hundertstel Millimeter ab. Ähnliche Rechnungen lassen sich für andere Schwermineralien durchführen. Bei einer solchen Rechnung ist jedoch daran zu denken, daß erfahrungsgemäß die Korngrößengruppe 0,2 bis 0,1 mm für Analysen herangezogen wird.

#### IV. Schalengemeinschaften

Das Neuwerker Watt mit dem größten Teil der Schwemmsandplate von Scharhörn und dem Wattrücken zwischen dieser Plate und Neuwerk sowie die Watten im Süden: der Untere und Obere Wittsand und der Schafsand wie auch der Kleine Vogelsand im Norden von Neuwerk weisen eine Schalengemeinschaft auf, die der des Watts entspricht (SIMON 1952, Zone III b). Als Schalengemeinschaft wurde aus guten Gründen die Gemeinschaft der aus ihren Wattwohngründen ausgespülten Schalen bezeichnet. Es ist eine recht artenarme Fauna. Die Vorherrschaft besitzen unbestreitbar die Sandklaffmuschel (*Mya arenaria* L), die Herzmuschel (*Cardium edule* L) und die Tellsmuschel (*Macoma balthica* L), im großen und ganzen etwas weniger häufig, dafür aber örtlich an mehr oder weniger flachen Prielhängen mit reichlich feinkörniger Komponente angereichert, wie es im Muschelloch beispielsweise der Fall ist, die Miesmuschel (*Mytilus edulis* L). Auf höhergelegenen Wattflächen finden sich hin und wieder die Schalen der Pfeffermuschel (*Scrobicularia plana* Da Costa). Die kleinen Schneckengehäuse der Wattschnecke (*Hydrobia ulvae* Pennant) sind oft recht zahlreich über die Wattflächen verstreut. Damit ist die Schalengemeinschaft des Watts bereits umrissen. Die gleiche Gemeinschaft findet sich in den Prielen und vor den Prielmündungen. Die Priele bringen diese Gemeinschaft im Süden in den großen Wattstrom Norder Till und im Norden in die Außenelbe, wo sie von Gezeitenströmungen verteilt wird. Die Karte der Schalengemeinschaften (Abb. 5) zeigt jedoch von der Wattkante im Norden eine über die Schwemmsandplate von Scharhörn in Richtung auf das Robbenloch hin verlaufende Grenze. Östlich dieser Grenze befindet sich das große Gebiet mit der eintönigen Schalengemeinschaft des Watts. Westlich dieser Grenze jedoch ist die Schalengemeinschaft des Watts mit Formen aus tieferem Wasser (Zone II der Außenelbearbeit 1952) und einzelnen Formen aus der Deutschen Bucht (Zone I b) untermischt. Außer den vorgenannten Schalen des Watts finden sich hier die Muschelschalen *Macra corallina*, *Donax vitatus*, *Ensis ensis*, *Spisula subtruncata*, *Venerupis pullastra*, *Abra alba*, *Angulus tenuis*, *Angulus fabula*. An Schneckengehäusen kommen *Littorina litorea* und *Buccinum undatum* vor. Es wurde aber auch im Spülsaum zwischen der Scharhörn-Bake und der Düne ein Gehäuse der Turmschnecke *Turritella communis* und im Spülsaum 100 m nördlich der Rettungsbake ein gut erhaltenes Gehäuse der Süßwasserschnecke *Viviparus fasciatus forma penthicus* gefunden.



Nördlich des Scharhörnriffs erstreckt sich von Westen, eben nördlich der Wattkante des Kugelbakenfahrwassers aufwärts ein schmaler Streifen mit einer Schallengemeinschaft der Außenelbe, vermischt mit Schalen aus den Schlickgründen der Außenelbe. Auf seiner Osterstreckung, das Kugelbakenfahrwasser aufwärts, erfolgt eine stetige Zunahme des Anteils der Wattgemeinschaft durch die Tätigkeit der Priele. Dieser schmale Streifen beherbergt außer den Schalen des Watts folgende Schalen:

*Abra alba*, *Mysella bidentata*, *Nucula nitida*, *Corbula gibba*, *Thracia papyracea* und vereinzelt

*Donax vittatus*, *Macra corallina*, *Angulus tenuis*.

Es ist zu bemerken, daß die hier aufgezeigte Grenze keine absolut feste sein kann. Sie wird Schwankungen unterliegen, die ihre Ursachen in Witterungsbedingungen und hydrographischen Zustandsänderungen haben werden. Abbildung 5 zeigt jedoch ebenso eindringlich wie deutlich eine aus westlichen Richtungen erfolgende Anfrachtung von Schalen aus tieferem Wasser und aus der Deutschen Bucht. Die Verteilung der Schalen auf der Schwemmsandplate läßt bis zur Verteilungsgrenze hin erkennen, daß sie von Westen nach Osten vor sich geht, wenn der Wasserstand so hoch ist, daß die Plate überflutet. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem oben aufgezeigten des petrographischen Zustands.

#### V. Versuch einer Deutung der Kartierungsergebnisse hinsichtlich der Sandbewegung

Faßt man die oben beschriebenen Ergebnisse zusammen, so ergibt sich ein einheitliches Bild von jeder der Wattlandschaften. Die Oberflächenkartierung scheidet deutlich die Watt Rückenlandschaft von der Schwemmsandplate. Sie gibt aber auch eine Reihe von Einzelheiten wieder, die das Bild vom Zustand des Watts abrunden. Das Werden und Erhalten dieses Zustandes wird möglicherweise aus regionalen Untersuchungsergebnissen abzulesen sein. Infolge der komplexen Natur des Beobachtungsgegenstandes wird eine Deutung dieser Spuren nicht einfach sein. Erst wachsendes Beobachtungsmaterial bringt hier wachsende Einsichten mit sich. Deshalb soll nur der Versuch einer Deutung unternommen werden, gleichviel, ob diese Deutung später einmal eingeschränkt oder ergänzt werden muß. Bei diesem Versuch beschreiben wir die einzelnen Landschaften am zweckmäßigsten von Westen nach Osten gehend. Wir kommen also von den Außensänden und gehen über das Außenwatt, über die Schwemmsandplate auf die Watt Rückenlandschaft und betrachten dabei alles, was zum Werden und Erhalten des Zustandes beigetragen hat und gegenwärtig immer noch beiträgt. Auf der Robbenplate finden wir reinen Sand. Der Anteil der Korngrößen unter 0,1 mm beträgt weniger als 10 %, meistens nur 1 bis 2 %. Die gemittelten Korndurchmesser haben Werte zwischen 0,20 und 0,232 mm. Die Oberfläche der Plate ist mit Rippelmarken überzogen und nur wenige hierher verdriftete und zum Teil beschädigte Muschelschalen hat der Ebbestrom zurückgelassen. Dies sind Schalen der Muscheln *Macra corallina*, *Spisula subtruncata*, *Donax vittatus*, *Abra alba*, *Scrobicularia plana*, *Angulus tenuis*, *Angulus fabula*, *Barnea candida*. Außer sehr selten zu beobachtenden Kothaufen von *Arenicola maritima* finden sich keine Lebensspuren. Die Plate ist lebensfeindlich. Sie steigt von Westen nach Osten ganz allmählich, ja kaum merklich über den Niedrigwasserspiegel und erreicht ihre höchste Erhebung im Osten. Hier, aber auch im Süden fällt sie steil ab. Im Osten am Scharhörnloch sind Flutstrombänke ausgebildet, die den Überfall des kräftigen Flutstroms über die Robbenplate anzeigen. Faßt man diese Beobachtungen zusammen, so ist zu sagen, daß die Robbenplate der aus westlichen Richtungen brandenden Dünung ihr Dasein verdankt. Sie ist eine riesige Brandungsbank und deshalb



lebensfeindlich. Die Flutstrombänke im Osten der Plate deuten an, daß sie, außer von der Brandung, auch von den Gezeitenströmungen stark beeinflusst wird, wie es ihrer Lage vor Scharhörn zwischen der Elbe und dem großen Wattstrom Norder Till entspricht.

Auch das Scharhörnriff gehört zu den Außensänden. Dieses Sandriff ist aus reinen Sanden aufgebaut. Der Anteil der Zusammensetzung unter 0,1 mm beträgt zwischen 0,6 und 2,4 %. Die gemittelten Korndurchmesser bewegen sich zwischen 0,172 und 0,270 mm. Der nördliche

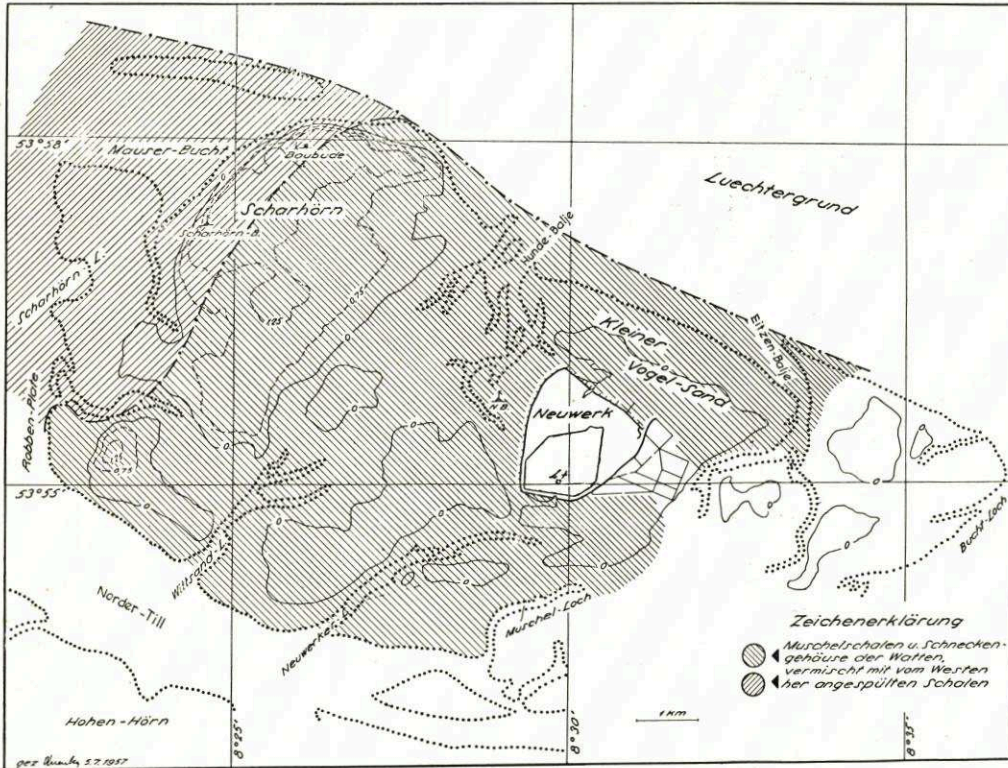


Abb. 5. Ostgrenze der vom Westen her auf das Watt verdrifteten Muschelschalen im Sommer 1952

Teil des Riffs an der Elbe zeigt eine glatte Oberfläche infolge brandender Wellen und besitzt die größte Körnung mit einem dg-Wert von 0,270 mm. Der mittlere Teil des in westöstlicher Richtung langgestreckten Riffs ist mit einer Ebbestrombankserie überzogen.

Die dg-Werte dieser Sandflächen schwanken zwischen 0,229 und 0,235 mm. Sowohl der nördliche als auch der mittlere Streifen des Riffs sind lebensfeindlich. Im Süden des Riffs jedoch sinkt eine etwas feinkörnigere Sandfläche ganz allmählich bis zur Niedrigwasserlinie und setzt sich sehr flach unter dieser in südlicher Richtung fort. Der dg-Wert dieses Sandes beträgt 0,172 mm und der Anteil der Körner unter 0,1 mm ist mit 2,4 % etwas höher als auf den mittleren und nördlichen Streifen. Hier im Schutze der Brandung ist Leben. Etwas außerhalb der Strombankserie beginnen in südlicher Richtung erst vereinzelt, dann immer häufiger die Kothaufen von *Arenicola* aufzutreten. Eben unter der Oberfläche siedeln sehr eng beieinander Herzmuschel und Seeigel. Brandung und Gezeitenströmung bilden die Voraussetzungen für den Aufbau des Riffs.



Zwischen dem Robbenloch im Süden und der Mauserbucht im Norden dehnt sich ein flaches Außenwatt vor der Schwemmsandplate von Scharhörn. Es steigt vom Westen her kaum merklich über die Niedrigwasserlinie und erreicht seine höchsten Erhebungen am Priel, der das Außenwatt von der hohen Schwemmsandplate trennt. Hier fällt das Watt steil zum Priel hin ab. Mit Ausnahme eines kleinen, sehr flachen Gebietes bei den Entnahmeorten 24 und 25 ist der Anteil der Körner unter 0,1 mm geringer als 10%. Die gemittelten Korngrößen bewegen sich zwischen 0,299 und 0,152 mm. Sie zeigen, wie Abbildung 2 zu erkennen gibt, auf der Wattfläche eine planmäßige Verteilung an. Das gröbere Korn liegt im Westen und Nordwesten und entspricht dem der Robbenplate und des Scharhörnriffs. Von Westen nach Osten und von Nordwesten nach Südosten jedoch nehmen die Werte der gemittelten Korndurchmesser ab. Es findet eine Kornsonderung statt, die durch Brandung erfolgt. Brandungsauslese zeigt auch in diesem Gebiet die Abbildung 4 der Flächen gleicher Wertstufen des Verhältnisses Klinaugit/Epidot. Die Brandung von Nordwesten her wird überdies durch eine auf das Watt aufgesetzte große Brandungsbank gekennzeichnet, deren Steilkante nach Südosten zeigt und bogenförmig ausgebildet ist (Abb. 2). Leben ist auf dem Außenwatt kaum zu finden. Sehr selten sind Kothaufen von *Arenicola* auf der von Rippelmarken überzogenen Oberfläche zu entdecken. Vom Ebbestrom zurückgelassene Schalen von *Macra corallina*, *Spisula subtruncata*, *Scrobicularia plana*, *Angulus tenuis*, *Angulus fabula*, *Ensis ensis* und *Petricola pholadiformis* finden sich selten. Ebenfalls sehr selten sind die Gehäuse der Schnecke *Buccinum undatum* und leere Seeigelgehäuse. Die Brandung ist die Gestalterin dieses Außenwatts, denn das allmähliche Ansteigen des Watts von Westen nach Osten und die im nördlichen Teil auf das Watt aufgesetzte Brandungsbank zeigen, daß das ganze Außenwatt einer sehr großen Brandungsbank entsprechen dürfte. Den Brandungsbankcharakter unterstreicht die von Westen nach Osten und von Nordwesten nach Südosten gerichtete Kornsonderung. Der Priel zwischen der Schwemmsandplate und dem Außenwatt läßt sich mit einem Brandungspriel vergleichen.

Mit der Schwemmsandplate betritt man eine völlig andersgeartete Landschaft. Sie ragt hoch über das flache Außenwatt empor und fällt mit starkem Gefälle nach Westen und Nordwesten ab. Nach Süden und Südwesten ist der Abfall sanfter. Große Teile dieser ausgedehnten Schwemmsandplate ragen drei Meter und wenig mehr über die Niedrigwasserlinie heraus. Sie werden nicht mehr ständig von der Flut überspült. Der Sand dieser hohen Flächen ist ein Spiel der Winde und daher so locker gelagert, daß der Fuß an manchen Orten um wenig in diesen Flugsand einsinkt. Der Sand wird schon bei mäßigem Wind fortgetragen und weht über die Oberfläche, bis er irgendwo zum Absatz gelangt oder mithilft, die Plate und die künstlich erzeugte Düne weiter aufzubauen. Nach Regenfällen zeigen Regentropfeneindrücke auf der Oberfläche, daß der Sand von dem flutenden Wasser längere Zeit nicht erreicht wurde. Diese hochgelegene Fläche wird von einem Kranz gestaffelter Spülsäume umgeben. Diese zeigen die verschiedenen Hochwasserstände an. Außerhalb dieser Spülsaumringe befinden sich diejenigen Flächen der Schwemmsandplate, die ständig, täglich zweimal, überflutet werden. Leichte Rippelmarken weisen auf diesen Vorgang hin. Im Westen aber, dort, wo die Brandung der hohen Dünung gegen das Watt schlägt, und im Nordwesten und Norden befinden sich mehrere Strandwälle übereinander. Hinter jedem Strandwall liegt eine flache Senke, über dieser Senke ein weiterer Strandwall und so fort bis zur Hochwasserlinie. Je höher jedoch das Wasser bei starken Winden um West steigt, um so mehr wird die Schwemmsandplate überflutet und die von der Brandung herangetragenen Schalen der Muschel *Macra corallina* über die Plate verteilt (Abb. 5). Ebenso ergeht es dem von der Brandung herangetragenen Treibgut. Der Sand der Schwemmsandplate ist rein. Sein Anteil an Körnern unter 0,1 mm beträgt weniger als 10%. Die gemittelten Korngrößen liegen zwischen 0,314 und 0,191 mm. Bemerkenswerterweise gibt es drei Zentren mit etwas höheren dg-Werten auf dieser



großen Plate. Es sind durch die Brandung hervorgerufene Aussonderungszentren. Ein solches Zentrum im Südwesten verdankt sein Dasein den Südweststürmen, deren hohe brandende Dünung den sanfteren Hang hinaufrollt. Ein anderes Zentrum erstreckt sich aus der Gegend der Rettungsbake nach Süden und wird von den Weststürmen erzeugt (Abb. 2). Das dritte Zentrum liegt etwas im Hintergrund vor dem Hundebaljensystem. Nordweststürme haben es entstehen lassen. Im Nordwesten am Rande der Plate befindet sich ein Streifen höherer dg-Werte. Er zeigt die Auslese bei Brandung unter normalen Verhältnissen. Erst wenn das Wasser höher steigt, wird über größere Flächen weiter sortiert. Dies zeigt die mit der 0,20 mm-Linie umrissene Fläche an. Erst hinter dieser liegt die Aufbereitungszone bei noch weiter steigendem Wasser. Der Spülsaum im Westen und Nordwesten enthält verdriftete und von der Ebbe zurückgelassene Schalen in großer Menge. Außer den Formen des Watts finden sich hier Formen der Außenelbe und der Deutschen Bucht. Das vereinzelte Vorkommen des verdrifteten Süßwasserschneckengehäuses von *Viviparus fasciatus forma penthicus* zeigt den verdriftenden Einfluß der Gezeitenströme an. In der Außenelbe trifft man zuweilen im Schill Reste von Süßwassermolluskenschalen an.

Aus allen diesen Beobachtungen geht hervor, daß die Schwemmsandplate von Scharhörn der Brandung und teilweisen Überflutung ebenso wie dem Flugsand auf den höheren Teilen ihr Dasein verdankt. Dieser Eindruck wird verstärkt durch eine von Westen bzw. Westnordwesten nach Osten hin erfolgende großflächige Abnahme des Klinaugitanteils zugunsten des Epidotanteils. Die Sonderverteilung auf einem schmalen von Norden nach Süden bis zum Robbenloch greifenden Streifen zeigt den Einfluß des Priels, ändert aber an der Tendenz der von Westen nach Osten gerichteten großflächigen Verteilung nichts. Die brandenden Wellen schlagen bei Stürmen um West und sehr hohen Wasserständen über die Plate, und ausgespülte Sandmassen werden hierdurch den Prielen Wittsandloch im Süden und Hundebalje im Norden der Wattwasserscheide zugeführt (Abb. 2). Ähnlich wie die große Schwemmsandplate von Scharhörn ist der Untere Wittsand der Brandung und den Stürmen ausgesetzt. Das Robbenloch im Norden trennt dieses Wattgebiet von dem flachen Außenwatt (Abb. 2). Im Osten wird der Untere Wittsand von dem Wittsandloch, im Süden von der Norder Till begrenzt. Nach Westen hin fällt das Watt ganz allmählich unter die Niedrigwasserlinie. Flächen geringen Umfangs zeigen auf diesem Watt Höhen von 3 m über Kartennull. Das Bild der gemittelten Korngrößen (Abb. 2) zeigt, wenn auch sehr viel engräumiger, gewisse Ähnlichkeiten mit dem der Schwemmsandplate. Auf den höchsten Wattleilen sind, durch die Brandung angereichert, die gemittelten Korndurchmesser mit  $dg = 0,262$  und  $0,264$  ermittelt am größten.

Rings um dieses Gebiet scharen sich Flächen mit geringeren gemittelten Korndurchmessern. Sie zeigen eine Sonderung bei ablaufendem Wasser an. Ebbestrombänke im nördlichen Teil des Unteren Wittsandes, im Einflußbereich des Robbenlochs, weisen ebenfalls auf diesen Vorgang hin. Im Norden des Watts beginnt sich eine Fläche mit geringen dg-Werten, nämlich unter 0,15 mm in Richtung auf das Wittsandloch auszubreiten. Diese Fläche zeigt eine Verteilung von Material zum Wittsandloch an. Kleinere Seegrasrasenflächen südlich des Gebietes mit den geringen dg-Werten lassen vermuten, daß hier keine Erosion mehr, sondern vielmehr Wachstum des Watts vorliegen dürfte. Dieser Vorgang scheint deswegen einleuchtend, weil diese Seegrasflächen östlich des Gebietes liegen, dessen Korngrößen durch Brandung ausgelesen wurden. Die fortgespülten Körner kommen bei westlichen Winden östlich dieses Gebietes zum Absatz, falls sie nicht weiter ausgesondert und weiter fortgeführt in dem Gebiet mit den Korngrößen unter 0,15 zum Absatz kommen. Von hier werden sie dem Wittsandloch allmählich zugeführt. Während der Untere Wittsand im allgemeinen weniger als 10 % Kornanteile unter 0,1 mm Durchmesser aufweist, zeigt gerade die Fläche mit den geringen dg-Werten zum Wittsandloch zunehmend Anteile unter 0,1 mm (Abb. 3). Am Wittsandloch selbst



liegen schließlich Anteile über 25 % vor. Mit Ausnahme der Watthänge am unteren Robbenloch finden sich auf den Flächen des Unteren Wittsandes nur die Muscheln und Schnecken des Watts. Die Sandklaffmuschel bestreitet vor allem auf den höchstgelegenen Teilen in der Brandungszone die Hauptmenge der ausgespülten Schalen. Daneben treten die Schalen der Herzmuschel, der Tellermuschel und seltener die der Miesmuschel auf. Weiter nach Osten hin wird der Einfluß der Brandung auf das Sediment schwächer. Auf dem Oberen Wittsand ist dieser Einfluß noch erkennbar, aber nicht mehr auf dem Schafsand (Abb. 2). Der aufbauende und verteilende Einfluß der Gezeitenströme tritt immer stärker hervor. Durch Brandung angereicherte Korngrößen machen sich im südöstlichen Teil des Oberen Wittsandes bemerkbar. Die dg-Werte erreichen hier Größen von 0,215 mm. Der Hauptteil der Flächen nimmt ein Sediment ein mit dg-Werten zwischen 0,20 und 0,15 mm. Auf diesen Flächen siedelt Seegras und zeigt zumindest Ruhe, wenn nicht sogar Aufbau an. Nur in Nähe der Priele, des Wittsandlochs im Westen und des Neuwerker Lochs im Osten sinkt der gemittelte Korndurchmesser auf kleinen Flächen unter 0,15 mm. Dieses Wattgebiet weist hauptsächlich weniger als 10 % Anteile unter 0,1 mm auf. Von dieser großen zentralen Fläche (Abb. 2) nehmen die gemittelten Korndurchmesser in Richtung auf die Priele und auf die Norder Till hin ab. Es ist der Einfluß der Gezeitenströme mit den Stauzeiten, der hier verteilend und niederschlagend wirkt. Dieser Einfluß wird weiter östlich auf dem Schafsand noch stärker. Die Tätigkeit der Brandung ist hier nicht zu entdecken. Die Gezeiten bewegen und verteilen den Sand. Die Stauzeiten bringen das feinste Korn zum Absatz. Abbildung 3 zeigt deutlich von Westen nach Osten, vom Unteren Wittsand über den Oberen Wittsand zum Schafsand die Zunahme dieser Anteile unter 0,1 mm.

Zwischen der Schwemmsandplate im Westen und der Insel Neuwerk im Osten erstreckt sich der hohe Wattrücken. Der größte Teil dieser Wattflächen wird von einem Sediment mit gemitteltem Korndurchmesser zwischen 0,20 und 0,15 mm eingenommen. Von den Prielen, der Hundebalje im Norden und dem Wittsandloch, wie auch vom Neuwerker Loch im Süden greifen zungenförmige Flächen mit geringen dg-Werten in diese große Fläche hinein. Sie verdeutlichen die Sonderung und Verteilung der Korngrößen diesseits und jenseits von der Wattwasserscheide in Richtung auf die Priele. Ausgespülte Schalen der Sandklaffmuschel, die auf dem Wattrücken umherliegen, weisen auf eine schwache Denudation des Wattrückens hin. Die Erosion zwingt das ausgespülte Sediment in die Prielsysteme. Vor allem aber wird es die Ostkante der großen Schwemmsandplate sein, die hier von den Gezeitenströmen angegriffen wird. Ihr Material wird hierbei gesondert und der Hundebalje und dem Wittsandloch zugeführt. Bei sehr hohem Wasserstand und Stürmen aus West wird der Sand der Schwemmsandplate aufgewirbelt und nach Osten verschleppt. Von hier aus gelangt er aufbereitet durch die Hundebalje in die Elbe und durch das Wittsandloch in die Norder Till, während ein Restteil weiter nach Osten wandert. Dieses verdeutlicht auch die Karte der Anteile unter 0,1 mm Durchmesser (Abb. 3). Der hohe Wattrücken besitzt auf seiner Längserstreckung hohe Anteile des feinsten Korns. In nördlicher und südlicher Richtung nehmen diese Anteile ab, bis sie die 10 %-Grenze erreichen. Auf dem hohen Wattrücken wird zur Stauzeit das feinste Korn niedergeschlagen. Es wird aber nicht durch die Gezeitenströme wieder entfernt. Von der Schwemmsandplate im Westen findet in östlicher Richtung nicht nur Kornverteilung, sondern auch Anreicherung des feinsten Korns statt. Hier findet im Schutz der Schwemmsandplate zur Stauzeit sein Absatz statt. Der Ebbestrom verfrachtet das feinste Korn in die Priele, wo es teilweise auf den Prielhängen zum Niederschlag kommt. Der Klinkeranteil nimmt auch in dem Gebiet zwischen der Schwemmsandplate und Neuwerk von Westen nach Osten zugunsten des Epidotanteils ab und zeigt damit eine Sonderung und Verteilung des bei Scharhörn angefrachteten Materials über das Watt. Nur die Prielzüge



beiderseits des hohen Wattrückens bringen einen Teil des wandernden Materials zur Elbe, einen anderen Teil zur Norder Till (Abb. 4).

Nördlich der Insel Neuwerk befindet sich der Kleine Vogelsand. Der Sand dieses Watts besitzt dg-Werte zwischen 0,154 und 0,20 mm. Auf dem von Süden nach Norden hin abfallenden Watt finden sich oberhalb der Niedrigwasserlinie in einer Erstreckung von etwas über 500 m Länge Flutstrombänke, die einen Materialtransport zur Mündung der Eitzenbalje verdeutlichen (Abb. 2). Eben über der Niedrigwasserlinie und darunter kommt etwas gröberer Sand mit dg-Werten zwischen 0,213 und 0,288 vor. Dieser Sand erstreckt sich streifenförmig bis in die Eitzenbalje hinein. Die Anteile der Korngrößen unter 0,1 mm liegen unter 10 %. Nur nordöstlich Neuwerk erreichen sie mehr als 10 und 15 %. Der Einfluß der Schlickfanganlage im Osten von Neuwerk macht sich hier bemerkbar. Im Westen und Nordwesten von Neuwerk zeigen die höheren dg-Werte die auslesende Tätigkeit der Brandung vor der Insel an. Vom Scharhörnriff her, der Nordkante der Schwemmsandplate folgend, erstreckt sich unter der Niedrigwasserlinie ein Sandstreifen mit dg-Werten, die das Riff und die Schwemmsandplate aufweisen. Dieser Streifen ist über die Mündung der Hundebalje zu verfolgen und erstreckt sich weiter an dem Kleinen Vogelsand entlang und auf diesen übergreifend bis in die Eitzenbalje hinein. Er verdeutlicht den Abbruch des Materials von der Nordkante der Schwemmsandplate von Scharhörn. Das abgespülte Material wird stromauf mit dem Flutstrom verfrachtet. Ein Teil des Materials wird über die nördlichen niedrigwassernahen Wattflächen des Kleinen Vogelsandes verteilt und abgesetzt. Ein anderer Teil gelangt in die Eitzenbalje und kommt hier am Westhang des Priels auf dem Kleinen Vogelsand zum Absatz. Während also die Schwemmsandplate als Ganzes noch im Aufbau begriffen sein dürfte, wird sie an ihrer Nordseite vom Flutstrom, der in das Kugelbakenfahrwasser einläuft, angegriffen und abgebaut.

## VI. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem Neuwerker Watt. Es werden die Wattlandschaften geschildert, die einer sedimentpetrographischen Kartierung unterzogen wurden. Diese Kartierung gründet sich auf Entnahmen von Wattoberflächenproben. Hierbei wurde Wert darauf gelegt, das Netz der Probenentnahmeorte möglichst engmaschig zu gestalten. Die Ergebnisse der Körnungsanalysen und der Schwermineralanalysen wurden für eine kartenmäßige Darstellung des sedimentpetrographischen Zustandes verwandt. Dieser Zustand erlaubt Schlüsse auf die Sandbewegungen. Die Kartierung zeigt in diesem Sinne einen von Westen nach Osten gerichteten Sandtransport über das Neuwerker Watt. Jede der hier beschriebenen Wattlandschaften zeichnet sich durch Sandbewegungen aus, die ihr angemessen sind, Sandbewegungen, welche die einzelnen Landschaften haben entstehen lassen und die sie erhalten. Die Schwemmsandplate von Scharhörn wird von Südwesten, Westen und Nordwesten her durch die brandende Dünung des Meeres und Überflutungen bei Stürmen aufgebaut. Sie bricht aber an ihrer Nordkante ab. Der in das Kugelbakenfahrwasser einströmende Flutstrom sorgt für den Abbau und die Zerstreung des Materials der nördlichen Kante der Schwemmsandplate von Scharhörn. Der hohe Wattrücken, zwischen dieser und der Insel Neuwerk, ist als hochgelegene Wattwasserscheide das Absatzgebiet der feinkörnigen Komponente zur Stauwasserzeit. Nördlich und südlich des Rückens findet ein Materialtransport vom Rücken zu den Prielmündungen hin statt. Auf den im südlichen Teil des Neuwerker Watts gelegenen Flächen des Unteren und Oberen Wittsandes sowie des Schafsandes wird der von Westen

nach Osten hin abnehmende Einfluß der Brandung zugunsten der gestaltenden Tätigkeit der Gezeitenströme geschildert.

Zum Abschluß erlaube ich mir, Herrn Präsident KRAUSE, Herrn Regierungsbaudirektor MEISEL, Herrn Oberregierungsbaurat SCHULZ und Herrn Oberregierungsbaurat SCHMIDT sowie Herrn Regierungsbaurat GRULICH und Herrn Dr. LUCHT meinen Dank auszusprechen für die mir gewährte Unterstützung. Dank gebührt auch dem ehemaligen Leiter des Geologischen Landesamts, Herrn Professor KOCH, für das Interesse, das er der Arbeit entgegenbrachte. Dank sage ich ferner Fräulein Dr. LOESER, die sich der zeitraubenden Anfertigung der Analysen widmete. Herrn BUTZKE gebührt Dank für die navigatorische Arbeit bei der Entnahme der Proben. Dem Bootsführer, Herrn LAU, habe ich für seine stets willige Bereitschaft zu danken.

## VII. Schrifttum

1. BAAK, J. A.: Regional Petrology of the Southern North Sea. Diss. Leiden 1936.
2. CROMMELIN, R. D.: De herkomst van het zand van de Waddenzee. Tijdschr. Kon. Ned. Aadr. Gen. 57, 3, 1940.
3. EDELMAN, C. H.: Petrologische Provincies in het Nederlandsche Kwartair. Proefschr. Amsterdam 1933.
4. GELLERT, J. F.: Das Außenelbwatt zwischen Cuxhaven, Duhnen und Scharhörn. Peterm. Mitt. 96, H. 2, 1952.
5. GRY, H.: Eine Methode zur Charakterisierung der Kornverteilung klastischer Sedimente. Geol. Rundschau 19, 1938.
6. HENSEN, W.: Die Entwicklung der Fahrwasserverhältnisse in der Außenelbe. Jahrb. Hafenbautechn. Ges. 18, 1941.
7. LUCHT, Fr.: Die Sandwanderung im unteren Tidegebiet der Elbe. Dtsch. Hydr. Z. 4/5/6, 1953.
8. SIMON, W. G.: Untersuchungsergebnisse an Grundproben aus dem Gebiet der Außenelbe und ihre Ausdeutung hinsichtlich der Sandwanderung 1949/50. Mitt. Wasser- u. Schifffahrtsdir. Hamburg, zugleich Mitt. Geol. Landesamt Hamburg Nr. 1, 1952.
9. SIMON, W. G.: Untersuchungsergebnisse an Grundproben aus dem Gebiet der Elbe zwischen Scheelenkuhlen und Cuxhaven und ihre Ausdeutung hinsichtlich der Sandwanderung 1951. Mitt. Wasser- u. Schifffahrtsdir. Hamburg, zugleich Mitt. Geol. Landesamt Hamburg Nr. 11, 1953.
10. SIMON, W. G.: Ergebnisse petrographischer Untersuchungen an Sedimenten der Unterelbe. Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg 23, 1954.
11. SIMON, W. G.: Sedimentpetrographische Kartierung der neuen Ostebank, des Neufelder Watts und des Medemsandes im Gebiet der Elbe und Außenelbe im Sommer 1954. Unveröffentlichter Bericht für die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg.
12. WRAGE, W.: Das Wattenmeer zwischen Trischen und Friedrichskoog. Diss. Univ. Hamburg 1930.



## Das Hemmoor im nordwestlichen Schleswig-Holstein

Von Ernst Dittmer

In den letzten Jahren haben anlässlich der Durchführung von Vorarbeiten für die Gruppenwasserversorgung der Marschen und angrenzenden Geestrandgebiete eine Anzahl von Bohrungen mittelmiozäne Schichten aufgeschlossen, die nach der reichhaltigen Molluskenfauna entsprechend der Miozängliederung nach KÖWING (1957) in das Hemmoor zu stellen sind. Die Vorkommen von Großenwiehe, Oxlund, Viöl und Behrendorf (Abb. 1) liegen im östlichen Teil des West-Schleswig-Blocks unmittelbar unter 45 bis 60 m mächtigem Pleistozän, von Süderhastedt (Süderdithmarschen) unter nur 34 m mächtigen eiszeitlichen Ablagerungen. In geringem Abstand vom Ostrand der Mildstedter Struktur wurden in der Nähe von Rantrum bei Husum humose Tone mit *Cardium hanseatum* KAUTSKY unter 140 m mächtigen oberen Braunkohlensanden bzw. 225 m mächtigem Pleistozän angetroffen. Schichten des Reinbek-Dingdens, des Obermiozäns und Pliozäns fehlen an allen genannten Orten. Die Mächtigkeit des Hemmoors wurde in Oxlund mit 93 m, in Behrendorf mit 75 m festgestellt. Glimmerreiche, fossilfreie Äquivalente der unteren Braunkohlensande bilden hier das Liegende. Die übrigen Bohrungen haben das Hemmoor nicht durchteuft.

Die Schichtenfolge gliedert sich wie folgt:

1. Brauner, humoser Ton, der nach unten sandiger wird und in braunen, tonigen Sand übergeht. Besonders im unteren Teil einzelne Lagen Grobsand. Abgesehen von den obersten, fetten Lagen sehr fossilreich. Mächtigkeit bis 50 m.
2. Graugrüner, schwach toniger bis toniger, glaukonitischer Feinsand mit einzelnen Kalksandsteinbänken, teils sehr reich, teils sehr arm an Fossilien. Mächtigkeit bis zu mehr als 80 m.
3. Brauner, humoser, toniger Feinsand und feinsandig-schluffiger Ton mit viel Glaukonit und Pyrit, sehr fossilreich. Mächtigkeit 10 m.

Die durch KAUTSKY (1925) von Hemmoor und Basbek-Osten beschriebenen mittelmiozänen Ablagerungen einschließlich des Vaginellen-Sandsteins finden sich also in ähnlicher Ausbildung auch im nordwestlichen Schleswig-Holstein.

Die oberen humosen Schichten und die glaukonitischen Feinsande enthalten eine sehr individuenreiche Fauna mit rund 220 Arten Mollusken (Liste S. 150), die nur faziell bedingt örtlich unterschiedlich in der Häufigkeitsverteilung ist, außerdem Korallen, Foraminiferen, Ostracoden und reichlich Otolithen. Von den Leitfossilien des Hemmoor sind *Cardium hanseatum* KAUTSKY und *Turris denticula borealis* GLIBERT regelmäßig vertreten. Ein ausgezeichnetes Leitfossil und auf diesen oberen Teil der Hemmoorer Schichten beschränkt scheint *Leda emarginata* LAM. zu sein. *Dorsanum boreobaccatum* KAUTSKY hat sich als zur Gemeinschaft von *Nassa pölsensis* HÖRN. und AUNG. und *Donax intermedius* HÖRN. und damit zum Bildungsraum sehr flachen, bewegten Wassers gehörig erwiesen und fehlt daher im größten Teil der Schichtenfolge. Die Gattung *Nassa* zeigt mit 11 Arten und einem ungeheuren Individuenreichtum eine üppige Entwicklung und wird an Häufigkeit gelegentlich nur von *Bittium spina* PARTSCH, *Ervilia pusilla* PHIL. oder *Lutetia nitida* REUSS noch übertroffen. Die Pleurotomiden sind mit vielen Arten gut vertreten, während die Fusiden fast gänzlich fehlen. Alle Schalen und Gehäuse sind im allgemeinen noch kleiner als die von KAUTSKY (1925) beschriebenen. Die Fauna der unteren humosen, sandigen Tone weicht mit ihren rund 170 Arten sowohl der Artenzusammensetzung wie der Häufigkeitsverteilung nach sehr erheblich von der der oberen Hemmoorer Schichten ab. Äußerst zahlreich sind die sonst seltenen Arten *Limopsis aurita* (BROCCHI),

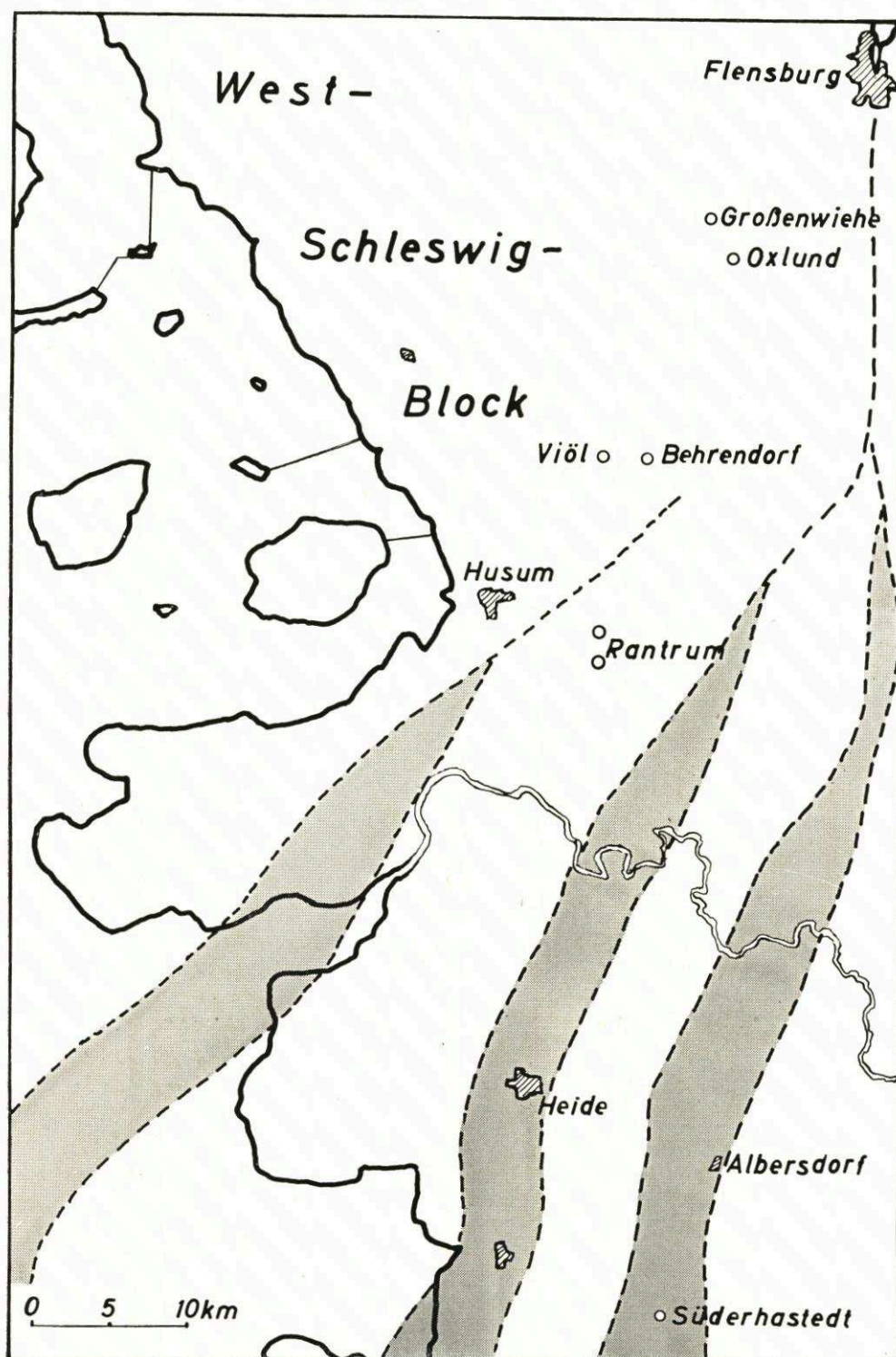


Abb. 1. Lage der Bohrungen. Tektonische Störungen und Salzstrukturen



*Cardita chamaeformis* (SOW.), *Astarte radiata* NYST und *Westendorp* und *Cavilucina droueti* NYST. *Cardium hanseatum* KAUTSKY, *Dorsanum boreobaccatum* KAUTSKY und *Leda emarginata* LAM., die Leitfossilien des oberen Hemmoor fehlen, *Turris denticula borealis* GLIBERT ist nur spärlich vertreten. Unter den Pleurotomiden ist eine schlanke Form von *Turris zimmermanni* PHIL. am häufigsten. *Nassa cimbrica* RAVN ist im Gegensatz zu den sonst massenhaften Vorkommen äußerst selten. Überhaupt treten die Nassiden sehr zurück. Hinzu kommen jedoch mehr als 25 Arten, die bisher im höheren Hemmoor nicht beobachtet wurden. Die wichtigsten sind: *Aquilofusus beyrichi* NYST, *A. oppenheimi* KAUTSKY, *Sipho grippi* KAUTSKY, *Mitra grate-loupi* D'ORB., *Uromitra acicula* (NYST), *Aphinotoma debilis* (BEYR.). Die im oberen Hemmoor so häufige *Turritella eryna* D'ORB. ist durch die untermiozäne *T. geinitzi* SP. ersetzt, und neben *Aporrhais alata* (EICHW.) tritt noch *A. speciosa marginini* (KON.) sehr häufig auf.

Diese erheblichen faunistischen Unterschiede lassen sich als allein faziell bedingt nicht erklären, zumal die oberen und unteren humosen Hemmoorer Schichten petrographisch einander sehr ähnlich sind. Die tiefere Fauna zeigt gewisse Anklänge an das Untermiozän, enthält aber schon eine ganze Anzahl typisch Hemmoorer Formen, während die bisher als leitend angesehenen Arten des Hemmoor offenbar erst in den höheren Schichten erscheinen. Es scheint eine große Ähnlichkeit mit dem braunen Kalksandstein zu bestehen, den Kautsky beschreibt und der auch große Formen und die genannten Fusiden enthält.

Es dürfte demnach berechtigt und zweckmäßig sein, das im nordwestlichen Schleswig-Holstein sehr mächtig ausgebildete Hemmoor in Unterstufen zu teilen:

Ober-Hemmoor	mit <i>Cardium hanseatum</i> , <i>Leda emarginata</i> , <i>Dorsanum boreobaccatum</i> , <i>Turritella eryna</i>
Unter-Hemmoor	mit <i>Aquilofusus beyrichi</i> , <i>A. oppenheimi</i> , <i>Sipho grippi</i> , <i>Aporrhais</i> <i>speciosa marginini</i> , <i>Turritella geinitzi</i> .

Die Auffassung KÖWINGS (1957), die oberen und unteren Braunkohlensande stellten eine festländisch-fluviatile Fazies des marinen Mittel- und Untermiozäns dar und hätten keine stratigraphische Bedeutung, kann auch für das nordwestliche Schleswig-Holstein voll bestätigt werden. Die Kontakte des Hemmoor mit den unteren und oberen Braunkohlensanden sind nicht synchron, sowohl das untere wie das obere Hemmoor kann teilweise oder ganz fehlen. Da die Lagerungsverhältnisse gerade im Verzahnungsgebiet teilweise tektonisch stark gestört sind, ist es von erheblicher praktischer Bedeutung, zu wissen, in welchem Abschnitt des Hemmoors man sich befindet. Eine besonders markante Unterstufe in der mächtigen und gleichförmigen Schichtenfolge ist sowohl für die stratigraphische als auch die paläogeographische Auswertung wertvoll. Eine derartige Unterteilung würde aber nicht der Gliederung von HINSCH (1955) entsprechen, bei der sich eine Trennung des Ober- und Unterhemmoors durch Braunkohlensande ergibt, die bisher vom Verfasser nicht beobachtet wurde und einer örtlichen Sonderausbildung im Bereich der Salinarstrukturen entsprechen könnte.

Die beschriebenen Bohrerergebnisse liefern einen wertvollen Beitrag zur Paläogeographie des Jungtertiärs, insbesondere auch im Hinblick auf die Verbreitung und Tiefenlage der Braunkohlensande, die für die Wasserversorgung Schleswig-Holsteins so überaus wichtig sind. In dem untersuchten Gebiet konnten bereits weite Teile ausgewiesen werden, in denen Tiefbohrungen nach Wasser erfolglos bleiben müssen.

Da die umfangreichen Fossilaufsammlungen aus Bohrungen stammen, die ausschließlich Hemmoor und keine anderen miozänen Schichten erschlossen haben, lassen sich die faunistischen Unsicherheiten beseitigen, die durch die Bearbeitung des Materials von Hemmoor entstanden sind, das offensichtlich auch solches aus dem Ober-Miozän, dem Reinbek-Dingden und dem ? Unter-Miozän enthält.

Liste der in den Hemmoorer Schichten des nordwestlichen  
Schleswig-Holstein vorkommenden Arten

	Hemmoor			Hemmoor			Hemmoor	
	Ober-	Unter-		Ober-	Unter-		Ober-	Unter-
<b>Lamellibranchier</b>								
1. <i>Nucula laevigata</i> SOW.	+	+	30. <i>Corbula basteroti</i> HÖRN.	+	+	79. <i>Dentalium micelotti</i> HÖRN.	+	+
2. <i>Nucula nucleus</i> L.	+	+	71. <i>Corbula gibba</i> OLIVI	+	+	80. <i>Dentalium vitreum</i> SCHRÖT.	+	+
3. <i>Nucula jeffreysi</i> BELL.	+	+	72. <i>Corbulamya donaciformis</i> NYST	+	+	81. <i>Dentalium novemcostatum mutabile</i> DOD.	+	+
4. <i>Nucula baesendonckei</i> NYST u. WEST.	+	+	73. <i>Martesia rugosa</i> BROCCHI	+	+	82. <i>Dentalium entale</i> L.	+	+
5. <i>Leda westendorpi</i> NYST	+	+	74. <i>Pandora</i> sp.	+	+	83. <i>Dentalium dollfussi</i> v. KOENEN	+	+
6. <i>Leda emarginata</i> LAM.	+	+	75. <i>Thracia ventricosa</i> PHIL.	+	+	84. <i>Cadulus gadus</i> MONT.	+	+
7. <i>Leda pygmaea</i> MÜNSTER	+	+	76. <i>Cuspidaria cuspidata</i> OLIVI	+	+	<b>Gastropoden:</b>		
8. <i>Yoldia glaberrima</i> MÜNSTER	+	+	77. <i>Cuspidaria costellata</i> DESH.	+	+	85. <i>Acmaea compressiuscula</i> KARSTEN	+	+
9. <i>Anadara diluvii</i> (LAM.)	+	+	<b>Cephalopoden:</b>			86. <i>Calliostoma laureatum</i> MAYER	+	+
10. <i>Anadara suessi</i> (KAUTSKY)	+	+	78. <i>Aturia aturi</i> BAST.	+	+	87. <i>Calliostoma</i> sp.	+	+
11. <i>Bathyarca pectunculoides</i> (SCACCHI)	+	+	<b>Scaphopoden:</b>			88. <i>Teinostoma hanseata</i> KAUTSKY	+	+
12. <i>Limopsis aurita</i> BROCCHI	+	+	79. <i>Dentalium micelotti</i> HÖRN.	+	+	89. <i>Teinostoma defranci</i> BAST.	+	+
13. <i>Limopsis lamellata</i> LEHM.	+	+	80. <i>Dentalium vitreum</i> SCHRÖT.	+	+	90. <i>Circulus praecedens</i> (v. KOENEN)	+	+
14. <i>Modiolus phaseolus</i> PHIL.	+	+	81. <i>Dentalium novemcostatum mutabile</i> DOD.	+	+	91. <i>Circulus hennei</i> GLIBERT	+	+
15. <i>Mytilus fuscus</i> HÖRN.	+	+	82. <i>Dentalium entale</i> L.	+	+	92. <i>Circulus carinatus</i> (PHIL.)	+	+
16. <i>Pterea phalaenacea</i> LAM.	+	+	83. <i>Dentalium dollfussi</i> v. KOENEN	+	+	93. <i>Liotia miosuturalis</i> KAUTSKY	+	+
17. <i>Pinna pectinata</i> L.	+	+	84. <i>Cadulus gadus</i> MONT.	+	+	94. <i>Cingula</i> sp.	+	+
18. <i>Pecten brummi</i> NYST	+	+	<b>Gastropoden:</b>					
19. <i>Pecten spinulosus dwelzi</i> NYST	+	+	85. <i>Acmaea compressiuscula</i> KARSTEN	+	+			
20. <i>Pecten radians</i> NYST	+	+	86. <i>Calliostoma laureatum</i> MAYER	+	+			
21. <i>Pecten angelonii</i> MEN.	+	+	87. <i>Calliostoma</i> sp.	+	+			
22. <i>Pecten edegemensis</i> GLIBERT	+	+	88. <i>Teinostoma hanseata</i> KAUTSKY	+	+			
23. <i>Pecten ercolanus</i> COCC.	+	+	89. <i>Teinostoma defranci</i> BAST.	+	+			
24. <i>Pecten lili</i> PUSCH	+	+	90. <i>Circulus praecedens</i> (v. KOENEN)	+	+			
25. <i>Pecten subbenedictus</i> FONT.	+	+	91. <i>Circulus hennei</i> GLIBERT	+	+			
26. <i>Amusium woodi</i> NYST	+	+	92. <i>Circulus carinatus</i> (PHIL.)	+	+			
27. <i>Lima subauriculata</i> MONT.	+	+	93. <i>Liotia miosuturalis</i> KAUTSKY	+	+			
28. <i>Anomia ephippium</i> L.	+	+	94. <i>Cingula</i> sp.	+	+			
29. <i>Ostrea digitalina</i> MONTFERREUX	+	+						





	Ober-Hemmoor	Unter-Hemmoor		Ober-Hemmoor	Unter-Hemmoor
135. <i>Turbonilla miostritula edegemensis</i> GLIBERT		+	203. <i>Clavatula olgae</i> HÖRN.	+	
136. <i>Turbonilla mionutinensis</i> SACCO	+	+	204. <i>Turricula steinvorhi</i> (SEMPER in KOENEN)	+	
137. <i>Turbonilla pseudoterebralis</i> SACCO	+	+	205. <i>Ancistrovix corneti</i> (v. KOENEN)	+	
138. <i>Strombiformis taurinensis</i> SACCO	+	+	206. <i>Conus dijudini</i> DESH.	+	
139. <i>Melanella lactea</i> (D'ORB.)	+	+	207. <i>Genota ramosa parvicarinata</i> KAUTSKY	+	
140. <i>Melanella eichwaldi</i> HÖRN.	+	+	208. <i>Acamptogenotia escheri</i> (MAYER)	+	
141. <i>Niso terebellum acarinatoconica</i> SACCO	+	+	209. <i>Acamptogenotia straeleni</i> GLIBERT	+	
142. <i>Eulimella hörnesi</i> v. KOENEN	+	+	210. <i>Asthenothoma pannus</i> (BASTEROT in BELLARDI)	+	
143. <i>Eulimella acicula</i> PHIL.	+	—	211. <i>Asthenotoma festiva</i> (HÖRN.)	+	
144. <i>Eulimella neumayeri</i> v. KOENEN	+	—	212. <i>Asthenotoma basteroti</i> DESM.	+	
145. <i>Phalium miolaevigatum</i> BEYR.	+	—	213. <i>Aphnotoma debilis</i> (BEYR.)	+	
146. <i>Phalium bicoronatum</i> BEYR.	+	+	214. <i>Borsonia uniplicata</i> (v. KOENEN)	+	
147. <i>Cymatium tarbellianum</i> GRAT.	+	+	215. <i>Clavus obtusangulus</i> (BROCCHI)	+	
148. <i>Pyrala simplex</i> BEYR.	+	+	216. <i>Clavus borealis</i> (KAUTSKY)	+	
149. <i>Pyrala condita</i> (BRONGN.)	+	+	217. <i>Clavus terebra intermedia</i> (KAUTSKY)	+	
150. <i>Murex nysti</i> v. KOENEN	+	—	218. <i>Clavus hannoverana</i> (KAUTSKY)	+	
151. <i>Murex delbosianus scalariformis</i> NYST.	+	+	219. <i>Clavus selenkae</i> (v. KOENEN)	+	
152. <i>Murex inornatus</i> BEYR.	+	+	220. <i>Clavus diensti</i> (KAUTSKY)	+	
153. <i>Trophon vaginatus semperi</i> v. KOENEN	+	+	221. <i>Mangelia miorgulosa</i> KAUTSKY	+	
154. <i>Typhis fitulossus</i> BROCCHI	+	+	222. <i>Lienardia luisae</i> (SEMP.)	+	
155. <i>Pyrene nassoides</i> GRAT.	+	+	223. <i>Philbertia reticulata</i> (REN.)	+	
156. <i>Pyrene corrugata</i> BELL.	+	+	224. <i>Daphnella hispidula</i> (JAN.)	+	
157. <i>Phos decussatus</i> v. KOENEN	+	—	225. <i>Daphnella grippi</i> KAUTSKY	+	
158. <i>Sipho grippi</i> (KAUTSKY)	+	+	226. <i>Daphnella anceps</i> (EICHW.)	+	
159. <i>Aquilojusus beyrichi</i> (NYST)	+	+	227. <i>Daphnella textilis</i> (BROCCHI)	+	
160. <i>Aquilojusus oppenheimeri</i> KAUTSKY	+	+	228. <i>Daphnella scabra</i> KAUTSKY	+	
161. <i>Streptochetus sexcostatus</i> BEYR.	+	+	229. <i>Daphnella</i> ? <i>venusta</i> COSSM.	+	
162. <i>Exilia contigua</i> BEYR.	+	—	230. <i>Hadropleuria maitreia</i> (SEMP.)	+	
163. <i>Lathyrus rothi</i> BEYR.	+	+	231. <i>Terebra acuminata</i> BROCCHI	+	
164. <i>Nassa pölsensis</i> HÖRN u. AUING.	+	—	232. <i>Terebra neglecta</i> MICH.	+	
165. <i>Nassa facki</i> v. KOENEN	+	+	233. <i>Terebra hörnesi</i> BEYR.	+	
166. <i>Nassa turbinella</i> (BROCCHI)	+	+	234. <i>Terebra basteroti</i> NYST	+	



167.	Nassa cimbrica	RAVN	+	+	
168.	Nassa tenuistriata	BEYR.	+	+	
169.	Nassa schröderi	KAUTSKY	+	-	
170.	Nassa schlotheimi	(BEYR.)	+	+	
171.	Nassa serraticosta	(BRONN)	+	+	
172.	Nassa cavata	BELL.	+	+	
173.	Nassa holsatica	(BEYR.)	+	+	
174.	Nassa tumida	BELL.	+	+	
175.	Dorsanum boreobaccatum	KAUTSKY	+	+	
176.	Ancilla obsoleta	BROCCHI	+	+	
177.	Olivæ dufresnei procera	KAUTSKY	+	+	
178.	Vexillum aciculium	NYST	+	+	
179.	Mitra grateloupi	d'ORB.	-	+	
180.	Scaphella bolli	KOCH	-	+	
181.	Cancellaria cancellata	praeedens KAUTSKY	+	+	
182.	Cancellaria beyrichi	MAYER	+	+	
183.	Cancellaria aperta	BEYR.	-	+	
184.	Cancellaria umbilicaris	pluricostata KAUTSKY	+	+	
185.	Cancellaria calais	KAUTSKY	-	+	
186.	Cancellaria behni		-	+	
187.	Cancellaria varicosa	BROCCHI	+	+	
188.	Admete fusiformis	CANTR.	+	+	
189.	Sandbergeria wolffi	KAUTSKY	+	+	
190.	Turris denticula borealis	(GLIBERT)	+	+	
191.	Turris zimmermanni	(PHIL.)	+	+	
192.	Turris coronata	(MÜNST.)	+	+	
193.	Turris stoffelsi	(NYST)	+	+	
194.	Turris boreoturricula	(KAUTSKY)	+	+	
195.	Turris duchasteli flexiplicata	(KAUTSKY)	+	+	
196.	Turris aquensis	(GRAT.)	+	+	
197.	Turris inermis	(PARTSCH)	+	+	
198.	Bathytoma mioturbida	KAUTSKY	+	+	
199.	Clavatula boreoromana	KAUTSKY	+	+	
200.	Clavatula boreointerrupta	KAUTSKY	+	+	
201.	Clavatula hemmoorensis	KAUTSKY	+	+	
202.	Clavatula obliquiplicatula	KAUTSKY	+	+	

Für die wasserwirtschaftliche Planung der Gruppenwasserversorgungen sind die gewonnenen Erkenntnisse ein wichtiges Hilfsmittel geworden. Wenige Bohrungen haben es ermöglicht, einen großräumigen Überblick in einem Gebiet zu gewinnen, über dessen geologischen Bau und hydrogeologische Verhältnisse kaum etwas bekannt war.

### Zusammenfassung

Im nordwestlichen Schleswig-Holstein haben neue Bohrungen eine mächtige, fossilreiche Folge mittelmiozäner Schichten des Hemmoor aufgeschlossen. Die von KÖWING (1957) für den nordwestdeutschen Raum vorgeschlagene Miozängliederung hat sich als richtig erwiesen. Auf Grund der Faunenunterschiede läßt sich eine Unterteilung in Ober- und Unter-Hemmoor vornehmen. Die Ergebnisse sind für die wasserwirtschaftliche Planung der Gruppenwasserversorgungen von erheblicher praktischer Bedeutung.

### Schriftenverzeichnis

- GLIBERT, M.: Fauna malacologique du Miocène de la Belgique. I. Pélécipodes, II. Gastropodes. Mem. Belg. Brüssel 1945—52.
- GLIBERT, M.: Pleurotomes du Miocène de la Belgique et du Bassin de la Loire. Mem. Belg. Brüssel 1954.
- HINSCH, W.: Miozängliederung in den Erdölfeldern Heide und Bramstedt. N. Jb. Geol. u. Paläont., Mh., 8. Stuttgart 1955.
- KAUTSKY: Das Miozän von Hemmoor und Basbeck-Osten. Abh. Preuß. Geol. La.-Anst. N. F. H. 97. Berlin 1925.
- KÖWING, Kl.: Zur Gliederung des nordwestdeutschen Miozäns. N. Jb. Geol. u. Paläont., Mh., 2. Stuttgart 1957.







